



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

“VALIDACIÓN DE LOS MODELOS RUSLE, WEQ Y CLAVOS DE EROSIÓN EN LA PÉRDIDA DE SUELO DE LA MICROCUENCA LA MERCED, CARCHI”

Trabajo de titulación para obtención del título de Ingeniero/a en Recursos
Naturales Renovables

Autores: Arroyo Salazar Luisa Gabriela
Jaramillo Aguilar Jennifer Lisbeth

Director: Ing. Oscar Armando Rosales Enríquez MSc.

Ibarra, 2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

“VALIDACIÓN DE LOS MODELOS RUSLE, WEQ Y CLAVOS DE
EROSIÓN EN LA PÉRDIDA DE SUELO DE LA MICROCUENCA LA
MERCED, CARCHI”

Trabajo de titulación revisada por el Comité Asesor previo a la obtención del Título de
INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

APROBADA:

Ing. Oscar Armando Rosales Enríquez MSc.

DIRECTOR

Ing. Darío Paul Arias Muñoz MSc.

ASESOR

Ing. Eleonora Melissa Layana Bajaña MSc.

ASESORA

Ing. Gladys Neri Yaguana Jiménez MSc.

ASESORA

Ibarra, Ecuador

2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	DE	1003687769	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Y	Arroyo Salazar Luisa Gabriela	
DIRECCIÓN:		La Esperanza – Imbabura	
EMAIL:		gabylui94@gmail.com	
TELÉFONO FIJO:	2660025	TELÉFONO MÓVIL:	0939945359

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	DE	1004560445	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Y	Jaramillo Aguilar Jennifer Lisbeth	
DIRECCIÓN:		San Pablo- Imbabura	
EMAIL:		jeny931095@gmail.com	
TELÉFONO FIJO:	2918301	TELÉFONO MÓVIL:	0995869153

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“VALIDACIÓN DE LOS MODELOS RUSLE, WEQ Y CLAVOS DE EROSIÓN EN LA PÉRDIDA DE SUELO DE LA MICROCUENCA LA MERCED, CARCHI”
AUTORAS:	Arroyo Salazar Luisa Gabriela Jaramillo Aguilar Jennifer Lisbeth
FECHA:	30/ Enero /2019
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera en Recursos Naturales Renovables
DIRECTOR:	Ing. Oscar Armando Rosales Enríquez MSc.

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Nosotros, **ARROYO SALAZAR LUISA GABRIELA** con cédula de identidad Nro. 100368776-9 y **JARAMILLO AGUILAR JENNIFER LISBETH** con cédula de identidad Nro. 100456044-5, en calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hacemos la entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3.- CONSTANCIAS

Nosotros, las autoras manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo, sin violar derechos de autores de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumien la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamos por parte de terceros.

Ibarra, a los 30 días del mes de enero del 2019

LAS AUTORAS



Arroyo Salazar Luisa Gabriela

1003687769



Jaramillo Aguilar Jennifer Lisbeth

1004560445

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo de investigación fue desarrollado por la señorita **ARROYO SALAZAR LUISA GABRIELA** con cédula de identidad Nro. 100368776-9, y la señorita **JARAMILLO AGUILAR JENNIFER LISBETH** con cédula de identidad Nro. 100456044-5 bajo mi supervisión.



.....
Ing. Oscar Armando Rosales Enríquez MSc.

DIRECTOR

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

ARROYO SALAZAR LUISA GABRIELA y JARAMILLO AGUILAR JENNIFER LISBETH. “Validación de los modelos RUSLE, WEQ y Clavos de Erosión en la Pérdida de suelo de la microcuenca la Merced, Carchi”. / TRABAJO DE GRADO. Ingeniero/a en Recursos Naturales Renovables Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables. Ibarra. EC. Enero 2019.

DIRECTOR: MSc. Oscar Rosales

La investigación evaluó la pérdida de suelo de la microcuenca La Merced utilizando las ecuaciones RUSLE, WEQ para lo cual utilizó el programa ArMap 10.4; y la técnica de Clavos de Erosión se registraron datos en campo durante el periodo de Mayo 2017 a Junio 2018, medidos mediante tres cuadrantes, en la fase de campo se realizaron análisis de laboratorio para determinar los sedimentos secos y totales para proceder a validación de los modelos. Se determinó que la erosión hídrica mediante el modelo RUSLE fue de 494,19 t/ha/año; para el cálculo de erosión eólica mediante el modelo WEQ se obtuvo valores de 159,94 t/ha/año; mediante la técnica de clavos de erosión, fue de 606,39 t/ha valores categorizados según la FAO como un nivel de erosión muy fuerte. La validación del modelo RUSLE y clavos de erosión; se obtuvo para el cuadrante uno valores de $r^2 = 0,99$ ubicándose en una categoría de excelente. El cuadrante dos presentó un $r^2 = -1,11$ ubicándose en una categoría de insuficiente representando que el método de clavos de erosión es más recomendable y finalmente para el cuadrante tres se obtuvo un valor de $r^2 = 0,22$ categorizando como valor satisfactorio para el modelo según Nash (1970).

Ibarra, 30 de enero 2019

		
MSc. Oscar Rosales Director	Gabriela Arroyo Autora	Jennifer Jaramillo Autora

AGRADECIMIENTO

Mi más grato agradecimiento al MSc. Oscar Rosales, director de esta tesis, por su valiosa orientación y la conclusión del mismo, por siempre buscar una solución en equipo ante los problemas que se presentan, reconociendo sus grandes conocimientos, habilidades y dedicación. A mi compañera de tesis Jennifer Jaramillo considerándola una amiga invaluable, por brindarme una amistad sincera por su valiosa constancia y dedicación en este proyecto.

Agradezco a mis docentes; su motivación ha sido fundamental para mi formación como profesional en especial a:

MSc. Gladys Yaguana: por su bondad y paciencia en todo momento

MSc. Verónica Ríos: por su aporte profesional en este estudio

MSc. Eleonora Layana: por sus conocimientos y orientaciones

Y, desde luego, agradezco el invaluable apoyo de mis padres, hermanos (Daniela, Pablo y Mary), tías y abuelitos, que sembraron en mi valores invaluable a quienes tengo siempre presentes y agradezco por siempre darme su apoyo incondicional y ejemplo, siendo el pilar fundamental para que sea una persona de bien..

Luisa Gabriela Arroyo

DEDICATORIA

A:

Mis padres por su amor, comprensión y siempre apoyarme en todo; mi madre Mónica Salazar, por ser mi ejemplo de madre amorosa y preocupada y siempre estar pendiente de mis pasos; mi padre Luis Arroyo quien es la persona más importante de mi vida, a quien debo agradecer todo lo que hoy en día soy, su carácter se resume en su gran perseverancia de seguir adelante en esta vida y nunca dejarse derrotar, gracias a sus esfuerzos por verme crecer como persona y profesional

GRACIAS;;

Mi esposo Eduardo por siempre apoyarme para cumplir mis sueños, por ser un padre amoroso y dar siempre lo mejor, ante todos los problemas que se nos presentan, eres una persona maravillosa.

Mi hija Adriana quien siempre me esperaba en casa con un abrazo y una sonrisa, después de la jornada universitaria, siendo ella mi razón para seguir superándome cada día, alcanzando este sueño juntas TE AMO HIJA.

Luisa Gabriela Arroyo

AGRADECIMIENTO

La vida se encuentra plagada de retos, por lo que en primera instancia agradezco a Dios, a mi familia por apoyarme en cada decisión y proyecto realizado a lo largo de mi carrera universitaria y en un futuro.

De igual manera agradezco a mi amiga Arroyo Gabriela por la dedicación, responsabilidad y más que todo la amistad que se fortaleció en el transcurso de la realización de este estudio, a mi grupo de amigas que estuvieron siempre presentes en el lapso de toda mi vida.

Sin duda a nuestro Director Oscar Rosales, que ha sabido guiarnos en el lapso de toda la investigación con el objetivo de que el trabajo realizado sea el mejor y por supuesto empaparnos de los valores que lo caracterizan al igual que su ética profesional. Finalmente, a nuestras asesoras Gladys Yaguana, Verónica Ríos y Eleonora Layana que arduamente trabajaron con nosotras para que el trabajo sea de excelente calidad, al igual que la formación ética y profesional de nosotras.

Jennifer Lisbeth Jaramillo Aguilar

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso, logros y tropiezos que he tenido, ayudándome a fortalecer mi corazón, iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mi madre Sandra Aguilar, por darme la vida, inculcarme valores, quererme mucho, creer en mí y porque siempre me apoyó. Mamá gracias por todo ya que por a ti soy la profesional que un día me propuse ser. Gracias por enseñarme y ayudarme a cumplir mis metas mis sueños y mis anhelos a ti madre gracias por ser un ejemplo de madre; gracias por ser mi pilar en vida, todo esto te lo debo a ti.

Finalmente, a mis hermanos Alejandro Jaramillo y Andrés Jaramillo por su apoyo y su ejemplo; y porque siempre estuvieron a mi lado.

Jennifer Lisbeth Jaramillo Aguilar

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problema de investigación	3
1.2. Pregunta directriz de la investigación	4
1.3. Justificación.....	4
1.4. Objetivo general	6
1.4.1. Objetivos específicos.....	6
CAPÍTULO II	7
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes	7
2.2. Erosión en el Ecuador	9
2.3. Modelos para estimar la erosión	11
2.4. Modelos de erosión	12
2.4.1. Modelo WEQ	12
2.4.2. Modelo RUSLE.....	13
2.5. Técnica de clavos de erosión.....	13
2.6. Ventajas de la técnica clavos de erosión	14
2.7. Estimación de la producción de Sedimentos.....	15
2.7.1. Transporte de sedimentos	15
2.7.2. Sedimentación	16
2.8. Modelos aplicados en el Ecuador.....	17
2.9. Marco legal.....	18
2.9.1. Constitución de la República del Ecuador 2008	18
2.9.2. Código Orgánico del Ambiente (COA).....	19
CAPÍTULO III.....	21
3. METODOLOGÍA	21
3.1. Caracterización del área de estudio.....	21
3.1.1. Descripción geográfica del área de estudio	22
3.1.2. Características del suelo	23
3.2. Materiales y equipos	24

3.3.	Metodología	25
3.4.	Cálculo del procesamiento de los factores en la erosión hídrica y eólica en la Microcuenca La Merced.	28
3.5.	Ecuación RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation).....	28
3.5.1.	Factor Erosividad (R)	28
3.5.2.	Factor Erodabilidad (K).....	31
3.5.3.	Factor de Longitud del Terreno (LS)	35
3.5.4.	Factor Cobertura Vegetal (C)	36
3.5.5.	Factor prácticas de conservación.....	38
3.5.6.	Cálculo del Modelo RUSLE.....	39
3.6.	Ecuación W.E.Q (Wind Erosion Equation)	39
3.6.1.	Factor Erodabilidad (I)	39
3.6.2.	Factor Climático (C).....	39
3.6.3.	Factor Rugosidad (K)	41
3.6.4.	Factor Longitud en Dirección de los Vientos (L).....	42
3.6.5.	Factor Cobertura de Vegetación (V)	42
3.6.6.	Cálculo del factor WEQ	43
3.7.	Clavos de Erosión	44
3.7.1.	Ubicación de los cuadrantes	44
3.7.2.	Caracterización de los cuadrantes	46
3.7.3.	Medición con la técnica clavos de erosión	46
3.7.4.	Densidades.....	47
3.7.5.	Cuantificación de la erosión hídrica superficial	47
3.7.6.	Toma de muestras para análisis de sólidos totales, disueltos	48
3.8.	Validación del modelo	49
3.8.1.	Fórmula de correlación de Nash.....	50
3.8.2.	Descripción de correlación de sedimentación y erosión	51
	CAPÍTULO IV	52
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
4.1.	Tasa de pérdida de suelo por erosión hídrica y eólica mediante las ecuaciones RUSLE y WEQ.....	52
4.2.	Modelo RUSLE.....	52

4.2.1.	Factor de erosividad (R)	52
4.2.2.	Factor de erodabilidad del suelo (K)	56
4.2.3.	Factor de longitud del terreno (LS)	58
4.2.4.	Factor de cobertura y manejo de vegetación (C).....	60
4.2.5.	Pérdida de suelo (A)	62
4.3.	WEQ.....	65
4.3.1.	Factor de índice de erodabilidad del suelo (I)	65
4.3.2.	Factor de rugosidad del surco del suelo (K).....	65
4.3.3.	Factor climático (C).....	68
4.3.4.	Factor longitud del terreno en la dirección prevaeciente de los vientos (L) 70	
4.3.5.	Factor equivalente de cobertura de vegetación (V).....	71
4.3.6.	Factor pérdida anual de suelo (E).....	74
4.4.	Cuantificación de pérdida de suelo por erosión hídrica mediante la técnica de clavos.....	76
4.4.1.	Resultados totales del área de estudio de La Merced	79
	Comparación de erosión hídrica de cuadrantes de clavos de erosión	79
4.5.	Validación del modelo cartográfico de la ecuación RUSLE empleando los datos de medición de Clavos de Erosión.....	80
4.6.	Correlación de técnica de Clavos de Erosión y Sedimentos	85
4.7.	Discusión.....	87
4.7.1.	Determinación la tasa de pérdida de suelo por erosión hídrica y eólica mediante las ecuaciones RUSLE y WEQ.	87
4.7.2.	Pérdida de suelo por erosión hídrica mediante la técnica de clavos.....	90
4.7.3.	Validación de la ecuación RUSLE empleando los datos de medición de clavos de erosión y datos de análisis de sólidos totales disueltos y sólidos secos totales. 91	
	CAPÍTULO V	92
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	92
5.1.	Conclusiones	92
5.2.	Recomendaciones.....	93
6.	BIBLIOGRAFÍA	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estado de la erosión por categorías en el Ecuador	11
Tabla 2. Modelos de erosión	11
Tabla 3. Clasificación de pérdida de suelo.....	23
Tabla 4. Materiales y equipos de campo.....	24
Tabla 5. Niveles de erosividad del IFM	29
Tabla 6. Estaciones meteorológicas	29
Tabla 7. Atributos de la capa de suelos: textura.....	32
Tabla 8. Atributos de la capa de suelos: materia orgánica	33
Tabla 9. Estructura de suelo (Códigos USLE)	33
Tabla 10. Permeabilidad de suelos (Código USLE)	34
Tabla 11. Cobertura Vegetal de La Microcuenca La Merced.....	36
Tabla 12. Valores asignados al Factor C.....	38
Tabla 13. Velocidad del viento	40
Tabla 14. Temperatura media anual (°C).....	41
Tabla 15. Predominancia de dirección del viento	42
Tabla 16. Coordenadas UTM (WGS 84, Zona 17 S) de los Cuadrantes.....	45
Tabla 17.- Valores Referenciales del criterio de Nash.....	50
Tabla 18. Índice de Modificado de Fournier (IF).....	53
Tabla 19. Índice de Modificado de Fournier (IF).....	53
Tabla 20. Valores medios del factor R a nivel de drenajes	55
Tabla 21. Valores medios del factor K a nivel de drenajes.....	57
Tabla 22. Valores medios del factor LS a nivel de drenajes	59
Tabla 23. Valores del factor C con referencia en Wischmeier y Smith (1978) ...	60
Tabla 24. Valores medios del factor C a nivel de drenajes	61
Tabla 25. Valores medios de la pérdida de suelo por erosión hídrica a nivel de drenajes	64
Tabla 26. Factor K índice de Rugosidad	66
Tabla 27. Factor K índice de Rugosidad (suelo barbecho)	66
Tabla 28. Valores medios del factor K a nivel de drenajes.....	68
Tabla 29. Valores medios del factor C a nivel de drenajes.....	69
Tabla 30. Valores medios del factor L a nivel de drenajes	71
Tabla 31. Valores medios del factor V a nivel de drenajes.....	73
Tabla 32. Valores medios de la pérdida de suelo eólica a nivel de drenajes	75
Tabla 33. Valores de erosión hídrica del periodo Mayo2017 - Junio2018 Mediante la Técnica de clavos de Erosión.....	78
Tabla 34. Valores de pérdidas totales de la microcuenca La Merced	79
Tabla 35. Resultados de pérdida de suelo en los tres cuadrantes.....	80
Tabla 36. Validación de RUSLE y Clavos de Erosión (Cuadrante 1)	81

Tabla 37. Validación de RUSLE y Clavos de Erosión (Cuadrante 2)	82
Tabla 38. Validación de RUSLE y Clavos de Erosión (Cuadrante 3)	84
Tabla 39. Valores de gastos totales de sólidos y clavos de erosión (Erosión)	85
Tabla 40. Gastos totales de sólidos y clavos de erosión (Sedimentación)	86
Tabla 41. Total de pérdida de suelo de la microcuenca La Merced.....	88
Tabla 42. Pérdida total de suelo modelos RUSLE y WEQ.....	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Procesos erosivos en la producción de sedimentos	15
Figura 2. Ubicación.....	21
Figura 3. Microcuenca La Merced	22
Figura 4. Esquema de la metodología de los modelos RUSLE WEQ.....	26
Figura 5. Esquema de la metodología de la técnica de clavos de erosión	27
Figura 6. Imágenes satelitales de Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM 3B42).....	30
Figura 7. Estaciones meteorológicas utilizadas en las imágenes satelitales TRMM 34B	31
Figura 8. Triangulo Textural.....	32
Figura 9. Ubicación de los cuadrantes de clavos de Erosión.....	44
Figura 10. Instalación de cuadrantes mes de Abril 2017	46
Figura 11 A y 11B. Factor Erosividad (R) de la microcuenca.....	54
Figuras 12 A y 12B. Factor Erosividad (R) a nivel de drenajes de la microcuenca (INAMHI: Base de datos de 15 años, TRMM periodo Mayo 2017- Abril 2018)	55
Figura 13. Factor Erodabilidad (K) de la microcuenca La Merced.	56
Figura 14. Factor Erodabilidad (K) de la microcuenca La Merced a nivel de drenajes	57
Figura 15. Factor Longitud del Terreno (LS) de la microcuenca La Merced....	58
Figura 16. Factor Longitud del Terreno (LS) a nivel de drenajes de la microcuenca La Merced	59
Figura 17. Factor Cobertura Vegetal (C) de la Microcuenca La Merced	61
Figura 18. Factor Cobertura Vegetal (C) a nivel de drenajes de la microcuenca La Merced	62
Figuras 19A y 19B. Erosión Hídrica de la microcuenca La Merced.....	63
Figuras 20A y 20B. Erosión Hídrica a nivel de drenajes de la microcuenca La Merced.....	64
Figura 21. Factor Rugosidad (K) de la microcuenca La Merced.....	65
Figura 22. Factor Rugosidad (K) a nivel de drenajes de la microcuenca La Merced	67
Figura 23. Factor Climático (C) de la microcuenca La Merced	68
Figura 24. Factor Climático (C) a nivel de drenajes de la microcuenca La Merced	69
Figura 25. Factor Longitud del Viento (L) de la microcuenca La Merced.....	70

Figura 26. Factor Longitud del Viento (L) a nivel de drenajes de la microcuenca La Merced	71
Figura 27. Factor Equivalente de Cobertura de Vegetación (V) de la microcuenca La Merced	72
Figura 28. Factor Equivalente de Cobertura de Vegetación (V) a nivel de drenajes de la microcuenca La Merced	73
Figura 29. Erosión Eólica de la microcuenca La Merced	74
Figura 30. Erosión Eólica a nivel de drenajes de la microcuenca La Merced	75
Figura 31 . Pérdida de suelo por erosión hídrica	76
Figura 32. Valores validados entre Clavos de Erosión y RUSLE	81
Figura 33. Valores validados entre Clavos de Erosión y RUSLE	83
Figura 34. Valores validados entre Clavos de Erosión y RUSLE	85
Figura 35. Curva de correlación para la Erosión total calculada	86
Figura 36. Curva de correlación para la sedimentación calculada.....	87

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Erosión Eólica	12
Ecuación 2. Erosión Hidrónica	13
Ecuación 3 . Índice Modificado de Fournier	28
Ecuación 4. Erodabilidad	34
Ecuación 5. Tamaño de partículas	34
Ecuación 6. Longitud del terreno	35
Ecuación 7. Modelo RUSLE.....	39
Ecuación 8. Factor climático	40
Ecuación 9. Índice de rugosidad	41
Ecuación 10. Modelo WEQ	43
Ecuación 11. Fórmula de la densidad Aparente.....	47
Ecuación 12. Suelo sedimentado o erosionado	48
Ecuación 13. Medición de caudal	49
Ecuación 14. Coeficiente de eficiencia (Nash-Sutcliffe)	50
Ecuación 15. Correlación lineal polinómica	51
Ecuación 16. Correlación lineal polinómica	51

RESUMEN

El valle del río Chota presenta geo-formas planas, inclinadas y muy inclinadas, que sumadas a los factores de precipitación, viento y uso inadecuado del suelo han incidido en la pérdida de este recurso. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la pérdida de suelos de la microcuenca La Merced localizada en la provincia del Carchi al norte del Ecuador. Para esto, se utilizó una metodología directa de medición de la erosión del suelo denominada clavos de erosión, la misma que fue relacionada con los modelos RUSLE y WEQ con una resolución espacial de 3 m en los raster respecto de los parámetros de los modelos. Se analizaron los valores obtenidos en campo de la pérdida de erosión del suelo por medio de tres cuadrantes de 10x10 m de clavos de erosión ubicados en la parte alta, media y baja de la microcuenca, durante el período de un año y dos meses para incluir la época seca y lluviosa. Además, se utilizó información climática: precipitación, temperatura y velocidad del viento e imágenes satelitales (TRMM 3B42) y muestreos de Sólidos Secos Totales (SST) y Sólidos Totales Disueltos (STD) y medición de caudales mensuales en el punto de aforo de la microcuenca. Se utilizó Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el análisis de la distribución espacial de las diferentes propiedades del suelo de la zona de estudio. Para el modelo RUSLE se obtuvo valores de 494,192 t/ha/año y 159,94 t/ha/año para el modelo WEQ, y un resultado final de 654,13 t/ha/año de pérdida de suelo y mediante la técnica de clavos de erosión y (SST) (STD), fue de 642,73 t/ha/año. El análisis de correlación de Nash entre las dos metodologías dio como resultado de la validación un valor de $r^2 = 0,99$ para el cuadrante uno y $r^2=0,22$ para el cuadrante 3 representando una categoría calificada como Muy Bueno y Satisfactorio.

Palabras claves: Erosión, Suelo, Clavos de Erosión, RUSLE, WEQ, Validación

ABSTRACT

The Chota Valley presents plain, tilted and very tilted geological formations. In addition with precipitation and wind factors, and inadequate use of the soil influenced the wearing of this natural resource. The aim of the present study was to evaluate the soil degradation in the La Merced micro-watershed, located in the Carchi porovince, at the North of Ecuador. In order to achieve this, a direct erosion measurement technique was used, called erosion nails. This technique was related to RUSLE and WEQ models, with an spatial resolution of 3 m of the parameters of the models. The obtained values of soil erosion were analyzed in three quadrants of erosion nails with 10 x 10 m each. These were situated in high, medium, and low altitude zones of the micro-watershed during a year and two months long time period, for including the dry and wet seasons. Furthermore, multiple climate data was considered such as: precipitation, temperature, wind flow velocity, satellite imagery, total dry solids (Sólidos Secos Totales, SST) and total dissolved solids (Sólidos Totales Disueltos, STD). Geographical Information Systems (GIS) were employed for the spatial distribution analysis of the zone of study. For the RUSLE and WEQ models, an amount of 494,192 and 159,94 ton/ha/year respectively were obtained, with a final result of ton/ha/year of soil loss. By the other hand, applying the erosion nails technique and SST & STD, the obtained result was 606.38 ton/ha/year of aparent erosion. The Nash correlation analysis between both methodologies yielded $r = 0.99$ for the one quadrant and $r = 0,22$ for the three quadrant representing a category qualified as Very Good and satisfactory.

Keywords: Erosion, Soil, Erosion Nails, RUSLE, WEQ, Validation

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural no renovable por tal razón su degradación afecta severamente a las funciones naturales que son base de la vida, al igual que a la regulación del ciclo hidrológico y a la calidad ambiental, generando un daño severo a todo un ecosistema, destruyendo el habitat de la parte superficial de la corteza terrestre (Toy, Foster y Renard, 1999; Park, Jeon, Jung y Choi, 2011). El recurso suelo es influenciado por una serie de fenómenos ambientales y las actividades humanas que aceleran el proceso natural de erosión debido a una falta de manejo las prácticas de cultivos en extensos territorios.

Para cuantificar la tasa de pérdida de suelo por erosión hídrica y eólica se han utilizado diferentes metodologías que han permitido identificar pérdidas actuales y potenciales, datos que a su vez sirven como base para la selección de las mejores prácticas de control de erosión (Del Val, 1987). Según la FAO (2008), las consecuencias de la degradación del suelo incluyen: disminución de la productividad agrícola, migración humana y de especies animales, inseguridad alimentaria, daños a los ecosistemas básicos y pérdida de biodiversidad.

Ecuador es un país que dispone de abundantes recursos naturales renovables destacando la particularidad y riqueza del recurso suelo. La Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) realizada por INEC en el 2016 expone que Ecuador posee una superficie agropecuaria de: 4.872.049,88 ha que corresponden al 19% del territorio nacional siendo utilizada para cultivos que representan un incremento del área agropecuaria del país, pero no un incremento de la producción. Muchas veces estas áreas cultivadas pierden su fertilidad y terminan siendo abandonadas. El resultado es un problema de erosión del suelo ocasionada por factores eólicos e hídricos como consecuencia de que el suelo ha perdido su cobertura vegetal.

El buen manejo del recurso suelo debe ser una prioridad dentro de los proyectos nacionales, ya que es base para el desarrollo de la diversidad biológica y seguridad alimentaria. En la actualidad, el desarrollo tecnológico y sus aplicaciones, como son los sistemas de información geográfica (SIG) permiten utilizar distintas metodologías para calcular la pérdida de suelo en distintos pisos altitudinales a niveles de cuenca y microcuenca.

Por otro lado, metodologías empíricas como la metodología RUSLE y WEQ, constituyen modelos universales aplicados exitosamente en varios países Latinoamérica como Venezuela, México, Chile y Argentina, cuantifica a largo plazo la erosión hídrica y eólica en los suelos. En Ecuador se han realizado pocos estudios de pérdida de suelo por erosión hídrica con los modelos RUSLE

En este contexto, la presente investigación determinó la tasa de erosión por acción hídrica y eólica de la microcuenca La Merced ubicada en la provincia del Carchi, cantón Bolívar, sector valle del Chota; según la clasificación propuesta por la FAO. En la microcuenca, se aplicaron los modelos RUSLE, WEQ y la técnica de clavos de erosión, para lo cual se validó mediante el criterio de Nash con los datos simulados y obtenidos en campo.

1.1. Problema de investigación

En el valle del río Chota son evidentes los procesos de erosión de origen antrópico y natural (precipitación y viento) que ocasionan el desgaste del horizonte superficial de los suelos y la pérdida de fertilidad de este recurso. La microcuenca La Merced es una pequeña cuenca afluente de la cuenca del río Chota, en la cual existe la presencia de cultivos de ciclo corto, cultivos perennes y vegetación xerofítica tales como por ejemplo: tuna (*Opuntia indica*), higuera (*Ricinus communis*), cabuya blanca (*Furcraea andina*), penca verde (*Agave americana*), penca azul (*Agave sp*), algodón (*Gossypium herbaceum*), mango (*Mangifera indica*), yuca (*Manihot esculenta*), plátano (*Musa paradisiaca*), pepino (*Cucumis sativos*), frejol (*Phaseolus vulgaris*), aguacate (*Persea americana*), caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), tomate de árbol (*Solanum betaceum*), achote (*Bixa Orellana*) entre otros.

El suelo de la microcuenca es derivado de cenizas volcánicas, por lo que se encuentra en constante producción, mediante aplicación de técnicas de riego, que conllevan una degradación progresiva del mismo, por factores como el agua, el fuego, el viento y la actividad humana (Pozo, s/f). Las altas temperaturas y las fuertes pendientes son factores que inciden en la erosión de estos suelos, por lo que el riesgo de pérdidas en el horizonte A es alto (Narro, 1994).

Un indicador del proceso erosivo de la microcuenca constituye la textura gruesa del suelo (Franco-arenosa) que influye en la susceptibilidad de pérdida por erosión hídrica y eólica en la acumulación del material en los cauces de quebradas situados en las cotas más bajas del cauce principal de la microcuenca. El material depositado proviene de la parte alta y está constituido por partículas de arena, limo y arcilla (Agrocalidad, 2014). Con el transcurso del tiempo, los sistemas agropecuarios se han deteriorado debido al mal manejo de los recursos suelo y agua, generando acumulación de sedimentos en las vías de tercer orden que conecta los sectores de Pusir Grande y Tumbatu.

1.2. Pregunta directriz de la investigación

1.- ¿Las tasas de erosión hídrica y eólica de la microcuenca La Merced superan los límites establecidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)?

1.3. Justificación

El proceso de erosión del suelo implica la separación de las partículas del suelo, transporte de sedimentos (por el impacto de la gota de agua y la fuerza de corte del agua) y la deposición (Meyer y Wischmeier, 1969; Wischmeier y Smith, 1978). El recurso suelo tiene la función esencial de sustento de la producción agrícola y ganadera. Sin embargo, la sobre explotación del mismo debido al incremento de estas actividades productivas, ha contribuido severamente con la degradación de la parte superficial de la corteza terrestre, sumado a otros agentes naturales.

Los procesos de degradación física de los suelos se manifiestan a través de la erosión hídrica y eólica que se considera comúnmente como una de las principales causas de la pérdida de suelo (Ostovari, Ghorbani-Dashtaki, Bahrami, Naderi y Melo, 2017); la erosión es un proceso de separación y transporte selectivo de materiales del suelo (partículas), debido a la acción del agua y el viento, dichos materiales son arrastrados superficialmente. Si el agente es agua, la erosión es hídrica y si es viento, la erosión es eólica. El concepto de erosión del suelo también puede referirse a la erosión antrópica, que es de desarrollo rápido en comparación con la erosión natural o geológica de evolución muy lenta (Mutchler, 1988).

El uso inadecuado del recurso suelo, así como las precipitaciones y el viento característicos de la zona de estudio, han contribuido a la pérdida de partículas de suelo en las pendientes muy marcadas de los terrenos del Valle del Chota,

evidenciándose de forma progresiva el desgaste y la erosión de estos suelos considerados secos y arenosos con poca retención de agua y con presencia de vegetación xerofítica.

La erosión progresiva de estos suelos ocasiona consecuencias negativas en el ecosistema de la zona, por lo que resulta necesario e imprescindible el estudio y análisis de esta problemática, tanto a nivel local como regional. El presente trabajo busca analizar y aplicar una metodología adecuada para determinar la erosión del suelo en el Valle del Chota y cuantificar la pérdida de suelo; cabe resaltar que en el Ecuador no se han realizado estudios sobre la pérdida de suelo por erosión eólica con el modelo de la ecuación WEQ.

Con el aporte de esta investigación se evaluará las tasas de pérdida del recurso suelo, generando investigaciones y propuestas de conservación de los recursos agua y suelo para un adecuado manejo y conservación. Como lo menciona el Plan Nacional de desarrollo de Toda una Vida (2017-2021), el cual como objetivo 3 es el garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones por lo que este estudio se alinea a mencionado objetivo, impulsando la investigación y técnicas de restauración de los recursos naturales (suelo) como estrategia de preservación de estos recursos.

1.4. Objetivo general

1. Evaluar las pérdidas de suelos en la microcuenca La Merced del valle del río Chota aplicando los modelos RUSLE, WEQ y técnicas de clavos de erosión.

1.4.1. Objetivos específicos

1. Determinar la tasa de pérdida de suelo por erosión hídrica y eólica mediante las ecuaciones RUSLE y WEQ.
2. Cuantificar la pérdida de suelo por erosión hídrica en campo, mediante la técnica de clavos de erosión en tres sitios de la microcuenca La Merced y análisis de sólidos totales disueltos y sólidos secos totales en el aforo de la salida de la microcuenca.
3. Validar el modelo cartográfico de la ecuación RUSLE empleando los datos de medición de clavos de erosión y datos de análisis de sólidos totales disueltos y sólidos secos totales.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

El recurso suelo es influenciado por una serie de fenómenos ambientales y antrópicos, la erosión hídrica y eólica se considera comúnmente como una de las principales causas de la pérdida de suelo (Ostovari *et al.*, 2017). Las actividades humanas aceleran el proceso natural de erosión debido a una falta de manejo en sus prácticas de cultivos de extensos territorios.

Las investigaciones de erosión desarrolladas en el siglo pasado fueron inicialmente de tipo cualitativo. Vega y Febles (2005) en estudio sobre la investigación de suelos erosionados: explica sobre métodos e índices de diagnóstico, donde los cuales consistieron en varios índices para evaluar la susceptibilidad de pérdida de suelo, dando como resultado el desarrollo de las primeras ecuaciones empíricas. Hasta el presente, se han desarrollado una variedad de metodologías para el estudio de erosión, algunas están basadas en observación directa en campo y modelación de factores, conocidos como métodos directos e indirectos.

Los métodos directos son estudios técnicos, que miden directamente los valores de erosión, como por ejemplo el método de parcelas experimentales, técnica de clavos de erosión obteniendo resultados acordes a la metodología aplicada, ya que cuando se predice la erosión se debe decir si es para un día; o si se refiere a una cuenca o una parcela (Morgan, 1994). Mientras que los métodos indirectos son modelos matemáticos que estiman las pérdidas de suelo a través de variables climatológicas y características propias de cada tipo de suelo (Pizarro y Curtiño, 1997; Vega y Febles, 2005).

La Ecuación Universal de Erosión Eólica fue el primer modelo de evaluación eólica, desarrollado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) en 1961, posteriormente fue actualizado y publicado como Erosión Eólica (WEQ) Woodruff y Siddoway (1965). Modelo que se utilizó principalmente en áreas agrícolas, como un modelo espacial de evaluación de la erosión eólica, capaz de cubrir grandes territorios.

Las ecuaciones para evaluar la pérdida de suelo por erosión hídrica son: USLE (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo) desarrollada por Wischmeier & Smith (1978) la cual ha sido revisada varias veces, y la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada desarrollada por Renard et al., (1991) quienes dieron paso al modelo RUSLE. Estas ecuaciones predicen las pérdidas de suelo promedio anual por hectárea, debidas a erosión hídrica laminar.

Los modelos de las ecuaciones RUSLE Y WEQ son modelos de caja negra ampliamente aceptados a lo largo de 30 años para evaluar las pérdidas de suelo (Gregory y Wallin, 1973; Wischmeier y Smith, 1978). Estos modelos utilizan ecuaciones matemáticas para modelar el movimiento del agua y las partículas de suelo sobre la superficie, así como la infiltración (Vega y Febles, 2005). En la actualidad, el Sistema de Información Geográfica (SIG) es utilizado como herramienta para el análisis espacial del suelo, permitiendo analizar los procesos erosivos de un área determinada, como puede ser las cuencas hidrológicas.

En relación con lo anterior se han desarrollado diferentes investigaciones como es el estudio de caso realizado por Jobin, Sabu y Thrivikramji (2017) en una cuenca de montaña tropical de las Ghats occidentales, ubicada al sur de la India, se realizó con el modelo RUSLE y transporte de sedimentos para predecir la pérdida de suelo anual. Como resultado obtuvieron que la erosión del suelo bruto en la microcuenca es de 14,36% t/ha/año, mientras que la erosión neta es solo de 3,60 t/ha/año. La erosión calculada con el programa SIC fue de 0,42 t/ha/año con leves procesos de erosión > 5 t/ha/año. Las tasas de erosión más altas se encontraron en cinturones de

vegetación natural por el efecto de topografía en comparación con la agricultura. Sin embargo, la eficiencia de transporte de sedimentos en los cultivos agropecuarios y plantaciones resultó relativamente mayor que la vegetación natural. Se concluyó que el modelo RUSLE con el transporte de sedimentos ayuda a ubicar zonas vulnerables a erosión y deposición, para un correcto manejo del recurso suelo y zonificación

Nyamtsere, Jamsran, Doljin, y Sodov (2016) realizaron un estudio sobre la Evaluación espacial de la erosión eólica del suelo con el enfoque WEQ en Mongolia, utilizaron ArcGIS para evaluar la pérdida de suelo, para parametrizar los factores individuales de la ecuación del modelo. Como resultado obtuvieron que la erosión potencial en Mongolia varía de 15 a 27 t/ha/año en desiertos semidesiertos, 10 a 15 t/ha/año estepas secas y 5 a 10 t/ha/año en regiones esteparias. Concluyeron que los ecosistemas desérticos y semidesérticos son más vulnerables a la erosión eólica por la falta de cobertura vegetal y que se encuentran más propensos a factores exógenos.

2.2. Erosión en el Ecuador

Ecuador es considerado megadiverso por lo que en la actualización del mapa de cobertura vegetal y uso del suelo del MAG-MAE (2013–2014) se expone que Ecuador tiene una superficie continental total de 24 874, 396 ha y La Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) realizada por INEC en el 2016 explica que Ecuador posee una superficie agropecuaria de: 5,39 millones de ha que corresponden al 19% del territorio nacional siendo utilizada para: cultivos permanentes (26,70%), cultivos transitorios (15,76), pastos cultivados (42,68%) y pastos naturales (14,85%), que representan un incremento del área agropecuaria del país, pero no un incremento de la producción por su falta de planes de manejo agropecuarios (SINAGAP,2012).

Varias veces estas áreas cultivadas pierden su fertilidad y finalmente son abandonadas, el resultado es un problema de erosión del suelo ocasionada por factores eólicos e hídricos como consecuencia de que el suelo ha perdido su cobertura vegetal. El Sistema Nacional de Control Forestal (2014) explica que en el Ecuador el 48% de los suelos sufre erosión activa y potencial, perdiéndose entre 10 a 50 143 t/ha/año y hasta un máximo de 143 t/ha/año en algunos sectores. Adicionalmente, se deforestan en promedio 70 000 ha/año; una alta proporción de éstas áreas son destinadas para actividades agropecuarias. El país posee una agricultura muy diversa, tiene más de 120 tipos de cultivos, de los cuales más de 50 son permanentes y alrededor de 70 son transitorios, solos o asociados. Sin embargo, al ser un país en vías de desarrollo, aún persisten problemas de degradación de suelos (Suquilanda, 2017).

La erosión geológica es la principal modeladora de la superficie terrestre a través de procesos naturales, mientras que la acción antrópica generalmente es acelerada. La erosión hídrica es un proceso que se relaciona con el ciclo hidrológico de una cuenca, es decir la dirección del agua a través de la cubierta vegetal y su movimiento sobre la superficie (Meyer, 1997; Narro, 1994). Según la FAO (1994). La degradación en términos de productividad, es un proceso que disminuye la capacidad actual y potencial del suelo para producir (cualitativa y/o cuantitativamente) bienes o servicios. Por otro lado, el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG, 1999) expone que la erosión es uno de los problemas más importantes en el sector agropecuario.

En muchos casos el aumento de la erosión es realizada por actividades humanas disminuyendo la producción agropecuaria. En la tabla 1 se expone el estado de erosión en el Ecuador. La degradación del recurso natural renovable suelo afecta a su sostenibilidad ocasionando problemas ambientales, socioeconómicos y culturales como la reducción de la capacidad del suelo para sustentar comunidades humanas y ecosistemas acelerando el proceso de desertificación (MAG, 1999).

Tabla 1. Estado de la erosión por categorías en el Ecuador

Categoría de intensidad de los procesos erosivos	Superficie (Ha)	Porcentaje estimados en relación con la superficie del Ecuador continental *
Muy activa	339.035	1, 30
Activa	808.468	3,10
Activa y potencial	2.008.00	7,70
Potencial	9.690.000	35,80
TOTAL	12.492.129	47, 90

*260 079 km² / 26 079 600 Ha

Fuente: MAG, 1999

2.3. Modelos para estimar la erosión

Hudson (1997) explica que la forma más sencilla de calcular un proceso físico consiste en utilizar una ecuación establecida o diagrama. Hoy en día los ordenadores ayudan a la automatización de procesos de ecuaciones matemáticas a partir de modelos. Actualmente se ha desarrollado numerosos modelos para predecir la erosión, algunos son ecuaciones simples que calculan el promedio anual de erosión hídrica y eólica en la desembocadura de una cuenca, que ayudan a estimar la pérdida de suelo. Trabajos sobre Erosión de suelos en América Latina citados por la FAO (1994), exponen algunos modelos que son utilizados hasta a actualidad (Tabla 2).

Tabla 2. Modelos de erosión

Acrónimo	Nombre Modelo	Autor
EPIC	Erosión/Productivity Impact Calculator	Williams et al., (1983)
SWAT	Soil and Water Assessment Tool	Arnold et al., (1993)
WEPP	Water Erosion Prediction Project	Flanagan y Nearing, 1994
WECS	Continuous Wind Erosion Simulation model	Williams y Potter
AOF	Método OnstadFoster	(Onstad y Foster, 1975)
MUSLE	Modified Universal Soil Loss Equation	Williams (1975)
USLE	Universal Soil Loss Equation	Wischmeier y Smith, 1978
RUSLE	Revisad Universal Soil Loss Equation	Renard et al., 1991
WEQ	The Wind Erosion Equation	Woodruff y Siddoway (1965)

Fuente y Elaboración: Adaptado de Carreño y Febles, 2005; FAO (1993).

2.4. Modelos de erosión

Las cuencas hidrográficas son geográficamente modificadas por el incremento demográfico, llevando a una transición de bosques a pastizales y áreas de cultivos, es así que el suelo queda desprotegido ocasionando alteración en la estructura por los factores físicos a los que se exponen.

2.4.1. Modelo WEQ

La ecuación WEQ representa la erosión del viento potencial causada por el viento, en los campos agrícolas. Con el objeto de desarrollar técnicas de control ante estos procesos erosivos; presenta cinco factores que intervienen en la ecuación los cuales son: erodabilidad, rugosidad, factor climático, longitud del terreno y vegetación medida, y se explican en la ecuación 1 desarrollada por Woodruff y Siddoway (1965):

Ecuación 1. Erosión Eólica

$$E = (I * K * C * L * V)$$

Donde:

E= es la pérdida anual de suelo por erosión eólica (t)/(ha/año)

I = Factor índice de erodabilidad del suelo (t.ha.h)/(ha.Mj.mm)

K= Factor de rugosidad del surco del suelo (adimensional)

C = Factor climático (adimensional)

L= Factor Longitud del terreno en la dirección prevaleciente de los vientos (adimensional)

V = Factor equivalente de cobertura de vegetación medida en (kg/ha).

2.4.2. Modelo RUSLE

Las ecuaciones para evaluar la pérdida de suelo por erosión hídrica son: USLE (Universal Soil Loss Equation) desarrollada por Wischmeier y Smith (1978) la cual ha sido revisada varias veces, dando paso a la RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) que significa Ecuación Universal Pérdida de Suelo Revisada desarrollada por Renard, Foster, Weesies y Mcool (1997). Es un modelo que predice las pérdidas de suelo promedio anual por hectárea (A) debidas a erosión hídrica y laminar de pendientes de campos específicos en sistemas de cultivos y pastizales, utiliza seis factores (ver ecuación 2) que son: precipitación (R), textura del suelo (K), longitud de inclinación del terreno (LS), cobertura vegetal (C) y prácticas de manejo y conservación (P) (Renard et al., 1997).

Ecuación 2. Erosión Hídrica

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Donde:

A= Pérdida de suelo por erosión hídrica en t/ ha/ año

R= Factor erosividad de la lluvia (Mj.mm)/(ha.h.año)

K= Factor erodabilidad (t.ha.h)/(ha.Mj.mm)

L= Factor de longitud del terreno (adimensional)

S= Factor pendiente del terreno (adimensional)

C= Factor cobertura y manejo de la vegetación (adimensional)

P= Factor prácticas de conservación (adimensional)

2.5. Técnica de clavos de erosión

Pizarro, Curtiño, Sangüesa y Martínez (2008) explican que la evaluación de la erosión debe basarse en estudios de pérdida de suelo por factores antrópicos y naturales. Mencionan también que la técnica de clavos de erosión es un método eficiente, práctico y de bajo costo que puede ser adaptado a todo tipo de sustratos, teniendo como principal objetivo la cuantificación de pérdida de suelo.

Estudios realizados con la metodología de clavos de erosión en la región de Murcia estimaron la tasa de erosión hídrica en la región mediante cuadrantes abiertos a fin de calcular el volumen de material erosionado en las cabeceras de las cárcavas (Romero, Ruiz y Belmonte, 2011 ; Pizarro et al., 2008).

La técnica de clavos de erosión es una metodología que permite estimar la pérdida de suelo directamente sobre el terreno, para lo cual se debe trabajar en ensayos sobre cuadrantes de superficie totalmente planas ajustándose a la topografía del terreno (Pizarro y Cuitiño, 1997). Este método consiste en utilizar clavos de acero de 6 pulgadas (dependiendo del estudio a realizarse), con o sin rodelas, que deberán ser colocadas directamente sobre el sustrato, debiendo asegurar que la parte inferior del clavo toque ligeramente el suelo del transepto o cuadrante; la utilidad de las rodelas es marcar los niveles de pérdida de suelo causados por la erosión en un periodo de tiempo determinado (Moreno, Gutiérrez, Maldonado y Jurado, 2002; Pizarro y Cuitiño, 1997).

Esta metodología fue utilizada en la evaluación de la erosión hídrica superficial en suelos sin cobertura vegetal de Chile aplicando tres parcelas de superficies variables con el objetivo de evaluar la erosión producida en el sitio de estudio (Pizarro y Cuitiño, 2002).

2.6. Ventajas de la técnica clavos de erosión

Este método es preciso y fácil de instalar al igual que la toma de datos, dependiendo de la disponibilidad de tiempo del investigador. Entre sus ventajas están que los clavos pueden ser colocados en cualquier tipo de pendiente de terreno y que los materiales pueden ser reutilizados evitando la contaminación del recurso suelo. Se puede mencionar que este método puede ser combinado con métodos alternativos para cuantificar la pérdida de suelo por acción antrópica y natural (Vives, 2003).

2.7. Estimación de la producción de Sedimentos

Según Meyer y Wischmeir (1969) los procesos erosivos hídricos pertenecen a tres principales factores como son: desprendimiento, transporte y sedimentación como se identifican en la figura 1; la segregación de suelo en la parte alta de la cuenca y es el proceso erosivo del suelo causado por el impacto del agua o por el flujo de la misma. Al ser erosionado el suelo es transportado por la columna de agua desde el lugar donde se produce la erosión hasta donde será depositado según el drenaje del cauce principal del agua; por último, el proceso de sedimentación es la acumulación de partículas de tierra en el fondo del cuerpo de agua disminuyendo el espacio de deposición de agua del río.

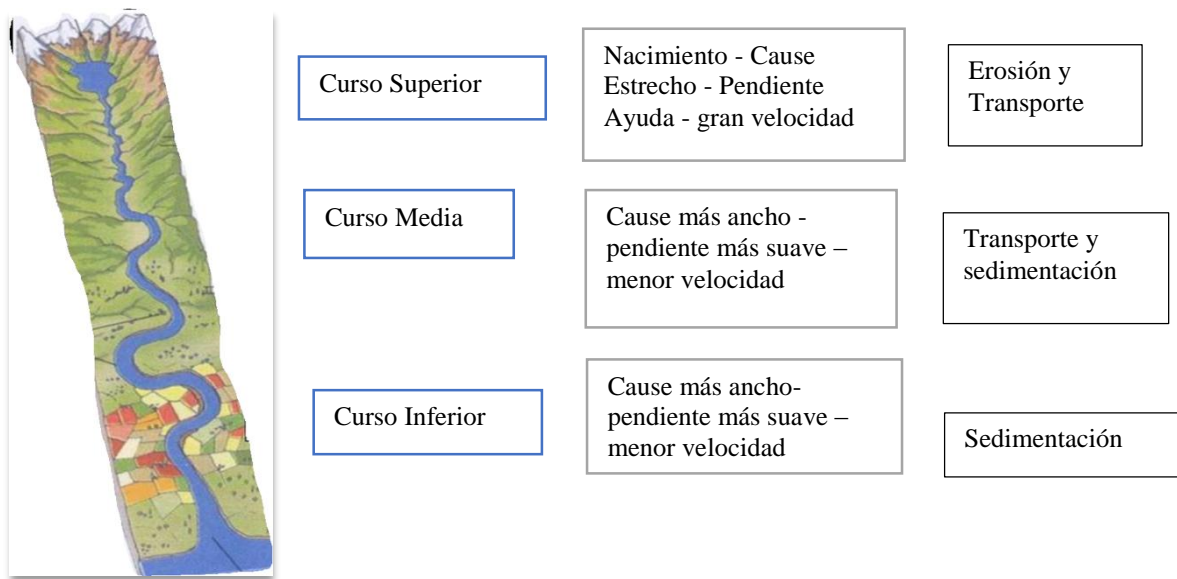


Figura 1. Procesos erosivos en la producción de sedimentos

Fuente: Eduardo Herrera Aguirre (2016)

2.7.1. Transporte de sedimentos

El transporte de sedimentos es la capacidad que tiene la columna de agua para trasladar partículas. El suelo al ser desprendido por el impacto de las gotas de precipitación es movilizado por medio de la escorrentía superficial hacia los drenajes aguas abajo de las microcuencas. La escorrentía es el resultado del excedente de la cantidad de precipitación que no logra infiltrar las capas del suelo. Al iniciar el proceso de escorrentía la cantidad y el tamaño del material transportado se incrementa con la velocidad del flujo de agua (Zambrano, 2015).

En la figura 1 se muestra la producción de sedimentos y la capacidad de transporte en un comportamiento inverso. En el inicio de la producción de sedimentos la capacidad de transporte es alta pero la provisión de sedimentos es baja, de este modo el proceso erosivo está limitado por la producción de sedimentos; al superar el punto de equilibrio el flujo sólido estará controlado por la capacidad de transporte obteniendo como resultado la suspensión de sólidos en el drenaje de la microcuenca (Zambrano, 2015).

2.7.2. Sedimentación

El proceso de sedimentación hídrica es generado por factores antrópicos y naturales que producen la erosión por acción del agua obteniendo como resultado el transporte de moléculas de suelo por acción del flujo hídrico como: la corriente del río, cause del río, embalse, canal o drenaje depositando las moléculas de suelo en el fondo del cuerpo del agua. La capacidad de transporte es función de la velocidad del flujo, de tal forma que si reduce la velocidad de flujo aumentará la sedimentación. El proceso de sedimentación tiene como inicio partículas grandes, seguidas por partículas moderadamente pequeñas (sólidos suspendidos totales) y partículas finas hacia la superficie del agua (sólidos secos totales). La distribución de sedimentos por partículas erosionadas tiene un impacto considerable en el proceso de erosión por sedimentación, por la cantidad de sedimentos en función de la capacidad de transporte para ser sedimentada, modelada y transportada. La sedimentación muestra procesos erosivos por lo que la estructura del suelo presenta

un desgaste en las partículas de distintos tamaños independientemente de las partículas finas (Zambrano, 2015).

2.8. Modelos aplicados en el Ecuador

En el Ecuador la ecuación RUSLE no es muy utilizada, sin embargo, es una herramienta útil para cuantificar la erosión del suelo. A continuación, se describe algunos casos de estudios de pérdida de suelo que utilizaron dicha ecuación:

Zapata (2015) dice en su estudio realizado en la microcuenca del río Perlaví, en la provincia Pichincha cuyo estudio se realizó en base a la descripción de la capa vegetal del sitio. Como resultado de esta investigación se obtuvo una tasa pérdida de suelo por erosión hídrica de < 10 t/ha/año determinada como erosión leve.

Peralta (2015) menciona en el estudio realizado en la micro-cuenca Río Cubí; utilizando el nivel de elevación (DEM) con el software SIG en la aplicación del modelo RUSLE para la sistematización de la erosión hídrica en el estudio se obtuvo valores de erosión entre 0,0415 y 124,061 t/ha/año por lo que se clasificó según años niveles de erosión propuesto por la FAO; los resultados obtenidos en el estudio demuestran que la microcuenca se encuentra con el 99,23% de erosión leve, moderada 0,64% y fuerte 0,13%.

López (2017) explica en su estudio realizado en el río Ambato utilizando unidades hidrográficas, en un escenario de cambio climático, mediante el modelo USLE/RUSLE; obteniendo una erosión potencial con rangos de ninguna o ligera con 53.515,29 representando el 52,22% de la superficie de terreno, moderada el 39.887,93 simbolizando el 38,92% del terreno, alta 8.886,39 ha representado un 8,67% del terreno en estudio y con 199,32 ha representado 0,19% con erosión muy alta de la superficie de terreno en estudio siendo puntos focales de erosión quebradas aledañas a los ríos de Ambato.

El uso inadecuado del recurso suelo, así como las precipitaciones y el viento característicos de la zona de estudio, han contribuido a la pérdida de partículas de suelo en las pendientes muy marcadas de los terrenos del Valle del Chota, evidenciándose de forma progresiva el desgaste y la erosión de estos suelos considerados secos, arenosos con poca retención de agua. La erosión progresiva de estos suelos ocasiona consecuencias negativas en el ecosistema de la zona, por lo que resulta necesario e imprescindible el estudio y análisis de esta problemática, tanto a nivel local como regional.

Un estudio de pérdida de suelo por erosión en el Valle del Chota no se ha realizado sin embargo investigaciones como el de Ponce (2016) sobre análisis multitemporal de cobertura vegetal del Valle del Chota, expone que en el año 2016 existió una disminución de áreas erosionadas, debido al cambio del uso de suelo agropecuario por la generación natural de 488,93 ha de cobertura vegetal xerófila. Sin embargo, recalca que se detectó un incremento en superficie en un 17,34% a partir de año 1991 hasta el año 2016.

2.9. Marco legal

El estudio realizado se enmarca dentro de la normativa legal ambiental del Ecuador, que se menciona a continuación:

2.9.1. Constitución de la República del Ecuador 2008

Título VI, régimen de desarrollo, capítulo I, principios generales

Art. 276.- El régimen de desarrollo tendrá los siguientes objetivos: Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural.

Título VII, Sección V, Suelo

Art. 409.- Es de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo, en especial su capa fértil. Se establecerá un marco normativo para su protección y uso sustentable que prevenga su degradación, en particular la provocada por la contaminación, la desertificación y la erosión. En áreas afectadas por procesos de degradación y desertificación, el Estado desarrollará y estimulará proyectos de forestación, reforestación y revegetación que eviten el monocultivo y utilicen, de manera preferente, especies nativas y adaptadas a la zona.

Art. 410.- El Estado brindará a los agricultores y a las comunidades rurales apoyo para la conservación y restauración de los suelos, así como para el desarrollo de prácticas agrícolas que los protejan y promuevan la soberanía alimentaria.

2.9.2. Código Orgánico del Ambiente (COA)

Título II, de los Derechos, Deberes y Principios Ambientales

Art. 5.- Derecho de la población a vivir en un ambiente sano. El derecho a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado comprende:

5. La conservación y uso sostenible del suelo que prevenga la erosión, la degradación, la desertificación y permita su restauración

Título II, Sistema Unico de Manejo Ambiental

Capítulo V, Calidad de los componentes abióticos y estado de los componentes bióticos

Art. 197.- Actividades que afecten la calidad del suelo. Las actividades que afecten la calidad o estabilidad del suelo, o que puedan provocar su erosión, serán reguladas, y en caso de ser necesario, restringidas. Se priorizará la conservación de los ecosistemas ubicados en zonas con altas pendientes y bordes de cuerpos hídricos, entre otros que determine la Autoridad Ambiental Nacional.

Capitulo II, Medidas Mínimas para Adaptación y Mitigación

Art. 261.- De las medidas mínimas. La Autoridad Ambiental Nacional, como ente rector, coordinará con las entidades intersectoriales priorizadas para el efecto y en base a las capacidades locales, lo siguiente:

4. La rehabilitación y protección de las zonas vulnerables a inundaciones, sequías, heladas, y degradación del suelo, de acuerdo a la priorización que se dicte para el efecto.

Derechos para todos Durante Toda una Vida

Objetivo 3. Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones.

Metas a 2021

- Mantener el 16% de territorio nacional bajo conservación o manejo ambiental 2021.
- Reducir la expansión de la frontera urbana y agrícola 2021

Objetivo 6. Desarrollar las capacidades productivas y del entorno para lograr la soberanía alimentaria y el buen vivir rural.

El desarrollo productivo debe ser consecuente con el entorno, con la sustentabilidad ambiental, para lo que se debe considerar la recuperación, uso eficiente y conservación de la fertilidad del suelo, recursos hídricos, agro biodiversidad y recursos naturales. Además, se deben considerar las relaciones campo-ciudad, con especial atención en la incidencia del desarrollo urbano en la disponibilidad de superficies productivas, y las necesidades de reconversión productiva que equilibren la vocación del suelo con su uso actual.

Políticas

- 6.5 Promover el comercio justo de productos, con énfasis en la economía familiar campesina y en la economía popular y solidaria, reduciendo la intermediación a nivel urbano y rural, e incentivando el cuidado del medioambiente y la recuperación de los suelos.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Caracterización del área de estudio

El área de estudio se localiza en la parte norte del Ecuador en la provincia del Carchi, Cantón Bolívar; la Microcuenca La Merced posee una superficie de 337,77 hectáreas (Figura 2). Pourrut (1995), define como un clima Ecuatorial Mesotérmico con temperaturas medias anuales que fluctúan entre 12-20 °C con mínima variación entre los meses ecológicamente secos y lluvioso; precipitaciones anuales menores a 500 mm.

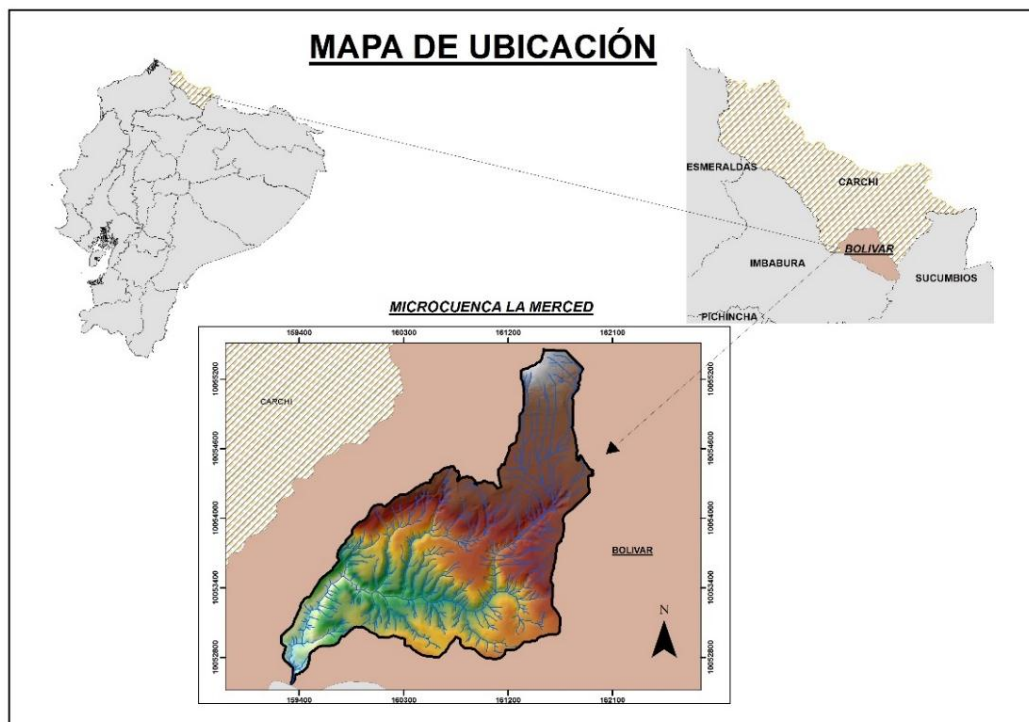


Figura 2. Ubicación
Fuente y Elaboración: Adaptado de SIGTIERRAS

La Merced presenta una topografía muy variada entre plana, ondulada y ligeramente ondulada que influye en el proceso erosivo; por este motivo se optó por delimitar los drenajes con mayor representación en el área para poder tener un mejor análisis de erosión hídrica, y se definió como 7 microcuencas (Figura 3). Además, posee quebradas disectadas y laderas de vertientes, las cuales se confluyen con el

cauce principal hasta el punto de salida de la microcuenca en la unión con el río Chota (Ponce, 2016 y Pozo, s.f) formando parte del paisaje con relieve irregular conocido como el Valle del Chota o Juncal.

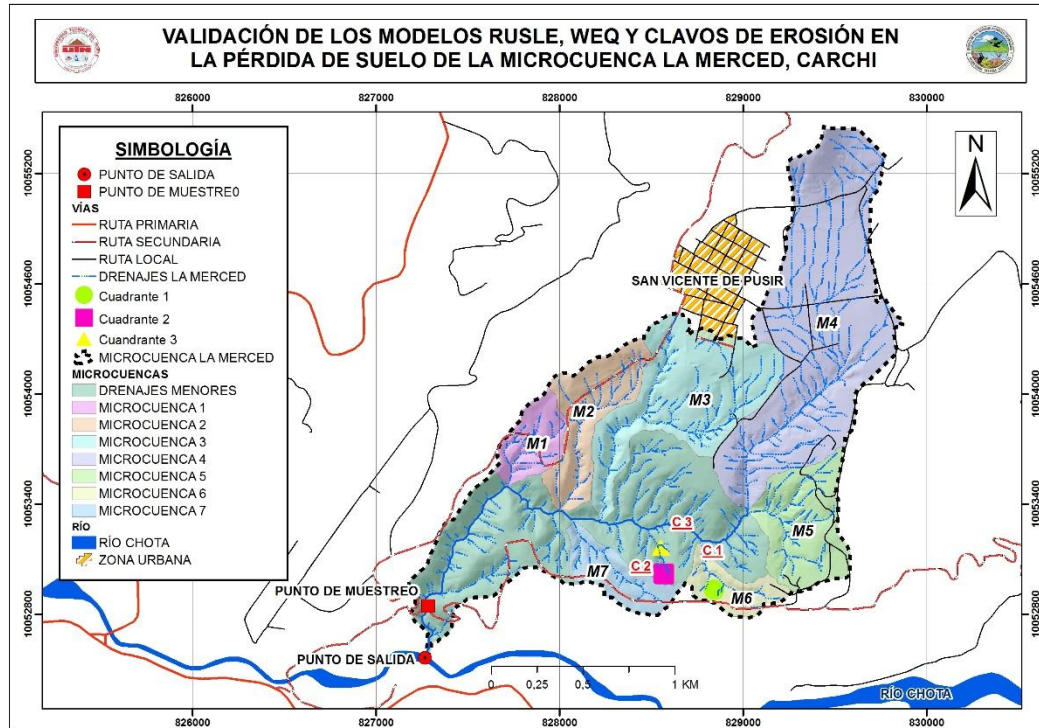


Figura 3. Microcuenca La Merced
Fuente y elaboración: Adaptado del Proyecto SIGTIERRAS

3.1.1. Descripción geográfica del área de estudio

Se realizó la delimitación automática de la Microcuenca La Merced con el software ArcGIS 10.4 a partir del DEM (Digital Elevation Model), con una resolución espacial de 3 m, el cual se obtuvo del Geoportal del SIGTIERRAS. El área de estudio se encuentra dentro de los valles interandinos cuya vegetación dominante es la xerofítica en las áreas degradadas y con pendientes fuertes mayores a 70 % con especies como *Agave americana*, *Furcraea andina* y *Opuntia ficus-carica*; los doseles del bosque seco son de 8 a 12 m de altura; y los individuos más representativos son *Acacia macracantha*, *Caesalpinia spinosa* y *Shinus molle L*, cubiertas por abundantes bromelias y epifitas; las cuales existen en las copas de los árboles y arbustos; el pH del suelo es moderadamente ácido y deficiente en nutrientes y en materia orgánica (MAE, 2013).

3.1.2. Características del suelo

La Merced posee dos tipos de órdenes de suelos como son Entisoles y Mollisoles caracterizados por ser edafológicamente jóvenes de climas secos y considerados suelos degradados. Pozo, (s/f) explica en su estudio Mutitemporal que los suelos de Tumbatu se formaron a partir de materiales sedimentarios de origen volcánico. Sin embargo, la topografía irregular al pie de las quebradas con pendientes pronunciadas y factores como erosión antrópica, hídrica y eólica contribuye a que existan suelos fuertemente erosionados y pedregosos.

La FAO (1981) ha propuesto niveles de pérdida de suelo por t/ha/año por erosión hídrica y mm/ha/año para erosión eólica, la clasificación de la pérdida del suelo propuesto por la FAO se muestra en la tabla 3. El presente estudio pretende estimar el porcentaje de pérdida de suelo de la microcuenca La Merced para conocer en que clasificación se encuentra según la caracterización de la FAO.

Tabla 3. Clasificación de pérdida de suelo

Clases	Erosión Hídrica	Erosión Eólica
Unidad de medida	t/ ha/año	mm /ha /año (*)
Nula o leve	< 10	0,6
Moderada	10 – 50	6 – 3,3
Fuerte	50 – 200	3,3 - 13,3
Muy fuerte	> 200	> 13,3

(*) Considerándose una densidad del suelo de 1,5 g/cm³

Fuente y elaboración: Adaptado de FAO (1981)

Limitaciones de metodología

Se puede mencionar que existieron limitaciones para validar el modelo WEQ ya que no se dispone de datos registrados en las estaciones meteorológicas para realizar la validación; además no se encontró una metodología adecuada para aplicar en el área de estudio; Aimar, Méndez y Buschiazzo (2011) utilizaron mediciones de erosión en parcelas cuadradas de 1 ha, que fueron mantenidas sin cobertura vegetal

y mínima rugosidad durante la duración del ensayo; cuyos factores que no se pueden aplicar dentro del área de estudio debido a las condiciones climáticas y superficie de parcelas cuadradas de 1 ha.

3.2. Materiales y equipos

Los materiales y equipos empleados para la investigación fueron los siguientes ver tabla 4.

Tabla 4. Materiales y equipos de campo.

Materiales.	Equipos
• Libreta de campo	• Calibrador pie de rey digital
• Cartas topográficas IGM a escala 1 50: 000	• Cámara digital
• Softwares ArcGis 10.4 con licencia temporal.	• Navegador GPS
• Clavos de acero de 6 pulgadas	• Flexómetro de 30 m
• Rodelas o arandelas	• Clinómetro
• Estacas de madera de 20 cm	• Impresora
• Rollo de piola nylon	• Computadora portátil
• Martillos	• Vehículo
• Spray rojo	• Cronómetro
• Varas de madera de 1 m	
• Baldes de 2 litros	

Fuente. Elaborado por las autoras

3.3. Metodología

Para evaluar la pérdida de suelo en la microcuenca La Merced se utilizó las ecuaciones RUSLE Y WEQ (Figura 4), Para la obtención de los parámetros utilizados en las ecuaciones se empleó Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se creó una base de datos actualizada con información procedente del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE); Instituto Geográfico Militar (IGM) e Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Posteriormente se tomaron datos en campo durante el periodo de 14 meses desde Mayo 2017 a Junio 2018, medidos mediante tres parcelas situadas en el área de estudio, la metodología consistió en la técnica de Clavos de Erosión (Figura 5).

Además, en esta fase de campo se realizaron análisis de laboratorio para determinar los sedimentos secos y totales del recurso hídrico del cauce principal (Anexo 1, 2 y 3). Finalmente, se compararon con los datos obtenidos en las mediciones anuales de erosión hídrica en campo en el periodo Mayo 2017- Abril 2018, con los valores de erosión calculados con las ecuaciones del modelo RUSLE de imágenes satelitales TRMM 3B 4 del periodo anual Mayo 2017- Abril 2018 que corresponde a los datos de campo de la técnica de clavos de erosión.

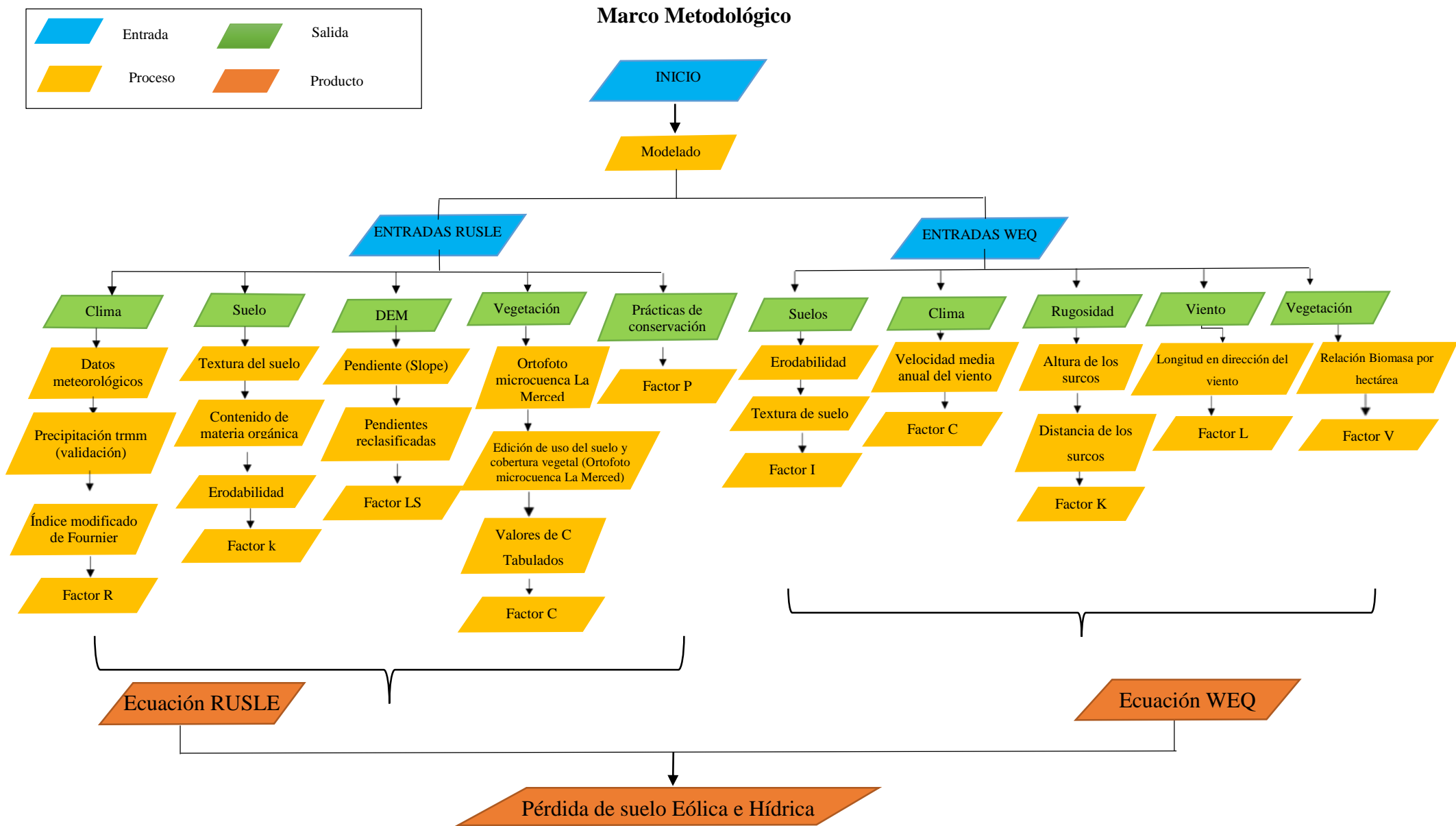


Figura 4. Esquema de la metodología de los modelos RUSLE WEQ

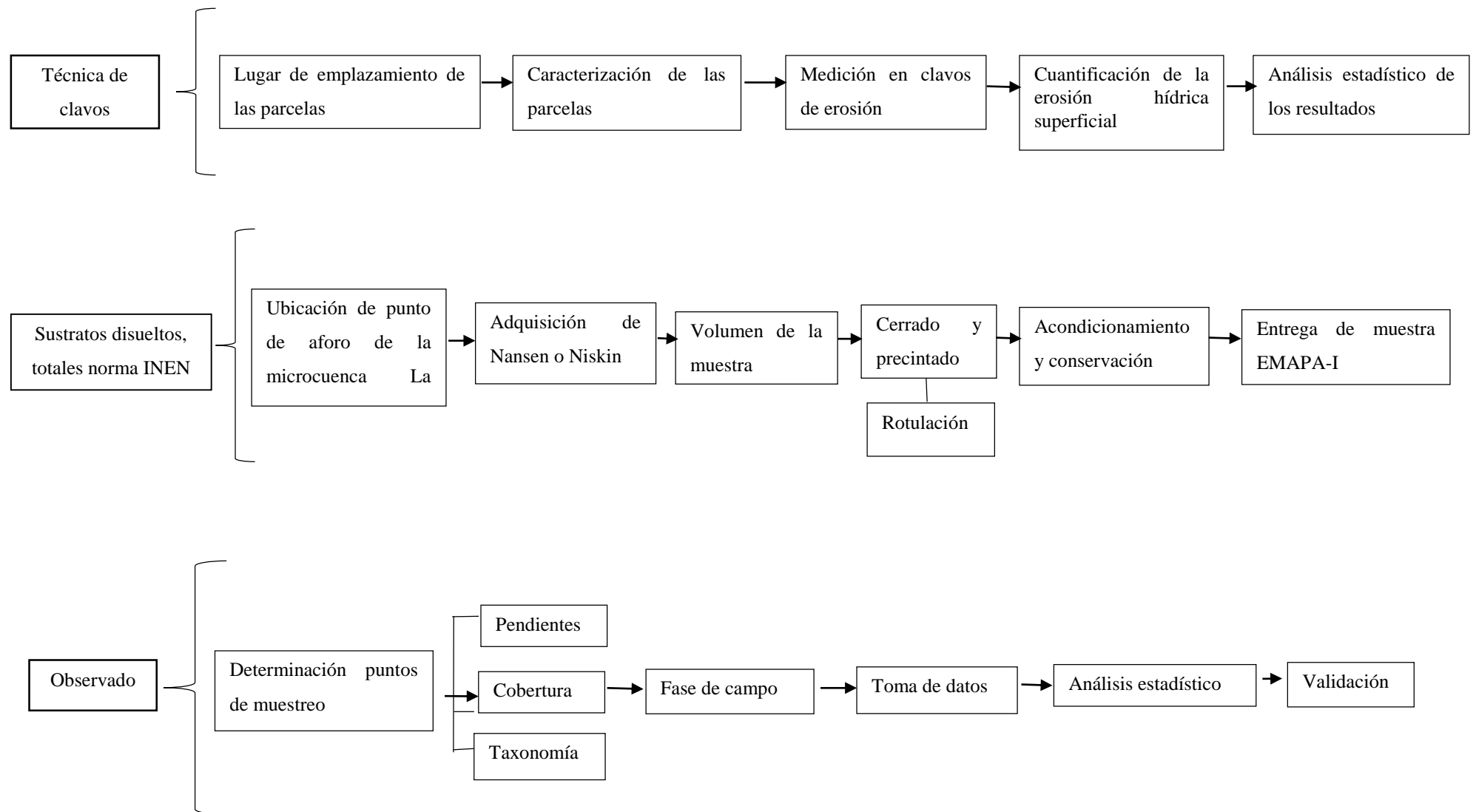


Figura 5. Esquema de la metodología de la técnica de clavos de erosión

3.4. Cálculo del procesamiento de los factores en la erosión hídrica y eólica en la Microcuenca La Merced.

3.5. Ecuación RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation)

Para el cálculo de la erosión hídrica por medio de la ecuación de RUSLE, se determinó cada parámetro de la ecuación, que se detalla a continuación:

3.5.1. Factor Erosividad (R)

El factor R determina la agresividad o erosividad de la lluvia. Se expresa en $Mj*mm/ha*año$. Define la capacidad potencial de las precipitaciones para provocar erosión en el suelo durante un periodo de lluvia determinado. Es la energía cinética de la lluvia, capaz de desagregar el suelo por medio del moviendo de las partículas, las cuales serán transportadas hacia aguas debajo de la cuenca por sedimentación o escorrentía.

El cálculo de la erosividad de la lluvia sobre el suelo se obtuvo mediante el índice de agresividad de Fournier (IMF) Fourier (1960) que es representado de la siguiente manera (Ecuación 3):

Ecuación 3 . Índice Modificado de Fournier

$$IMF = \frac{p^2}{P}$$

Donde:

IMF: Incide Modificado de Fournier

p = precipitación del mes más lluvioso (mm)

P = precipitación anual (mm)

En la tabla 5 se muestran los niveles de agresividad climática.

Tabla 5. Niveles de erosividad del IFM

IMF	Agresividad climática
0 – 60	Muy baja
60 – 90	Baja
90 -120	Moderada
120- 160	Alta
>160	Muy alta

Fuente y Elaboración: Adaptado por Verbist, Santibañez, Gabriels y Soto (2010).

Datos estaciones meteorológicas

Se utilizaron datos de precipitación mensual de todos los 15 años de registros meteorológico de cinco estaciones aledañas a La Merced (Tabla 6). Los datos de precipitación se interpolaron mediante el método de *Kriging* el cual es un proceso geoestadístico que cálculo un promedio ponderado de las observaciones muestrales y hace predicción en sitios no muestreados dentro del área de estudio.

Tabla 6. Estaciones meteorológicas

CÓDIGO	ESTACION	COORDENADA X	COORDENADA Y	ALTITUD msnm	Promedio media anual (mm)
M104	Mira-FAO granja la portada	830900	10061205	2430	564,50
M314	Ambuqui	832801	10046983	1833	434,70
M597	Piman chico	828105	10048661	1850	411,50
M603	Salinas-imbabura INAMHI	819850	10055320	1730	244,80
M0086	San Vicente de Pusir	829454	10054693	1891	385,4

Fuente y Elaboración: Adaptado de INAMHI, (2017).

Imágenes satelitales Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM3B42)

Debido a la falta de información de precipitación del periodo de muestreos de los cuadrantes de clavos de erosión en campo Mayo 2017 – Abril 2018, para la validación del modelo RUSLE, se optó por descargar imágenes satelitales del servidor <https://mirador.gsfc.nasa.gov>, específicamente del satélite: Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM 3B42) con características de mm/mes (Figura 6). Las imágenes fueron procesadas en ArcMap 10.4, se cambió el formato de NetCDF a RASTER posteriormente se proyectó a coordenadas UTM y después se extrajo los valores mediante la herramienta de *Spatial Analysis: Extract Values Multi Points*, se cortó con la herramienta *extract by mask* con el límite de las provincias Carchi e Imbabura, posteriormente se realizó la interpolación con *kriging e idw* disminuyendo la resolución de pixel a 3m (Figura 7).

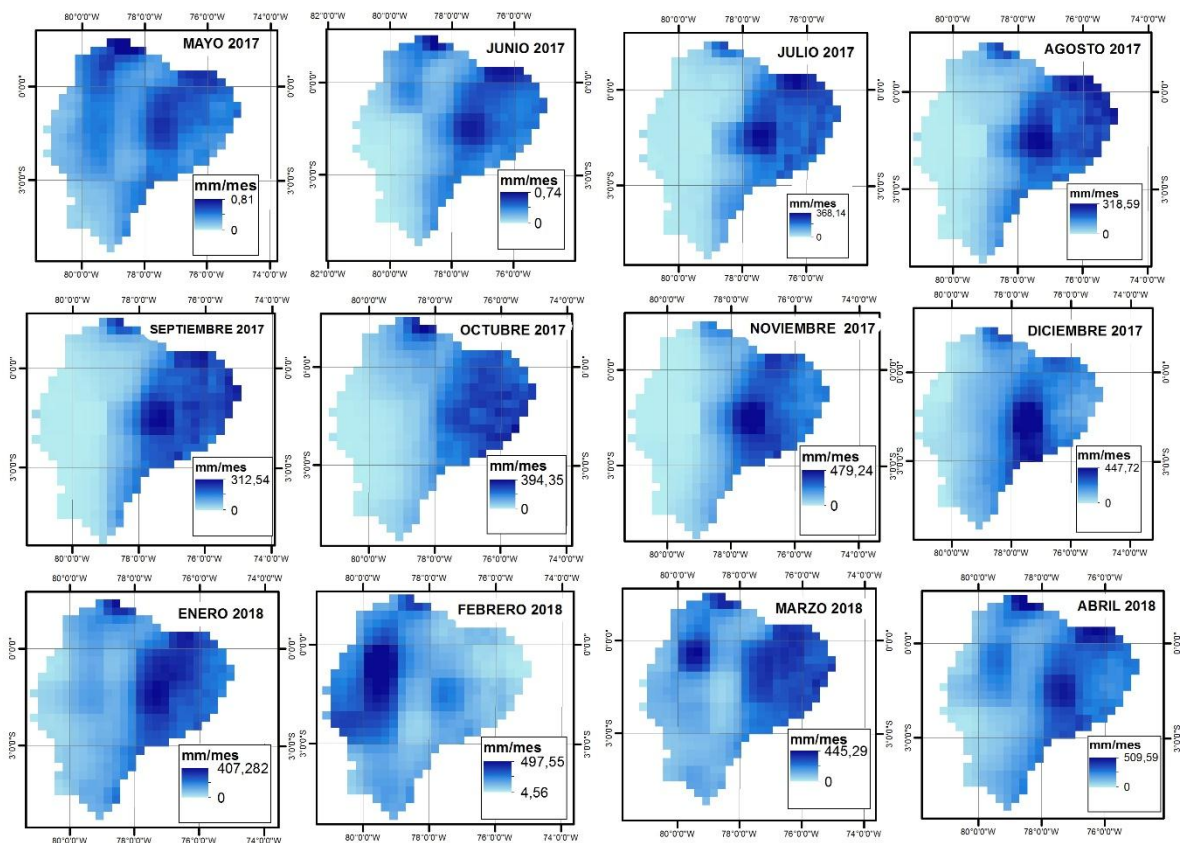


Figura 6. Imágenes satelitales de Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM 3B42)

En la figura 7 se utilizó la ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas del INAMHI (Tabla 5), para extraer los valores mediante la herramienta de *Spatial Analysis: Extract Values Multi Points* de los meses mayo 2017 – abril 2018 de las imágenes satelitales del año de registro de datos de clavos de erosión para posteriormente interpolar con IMF.

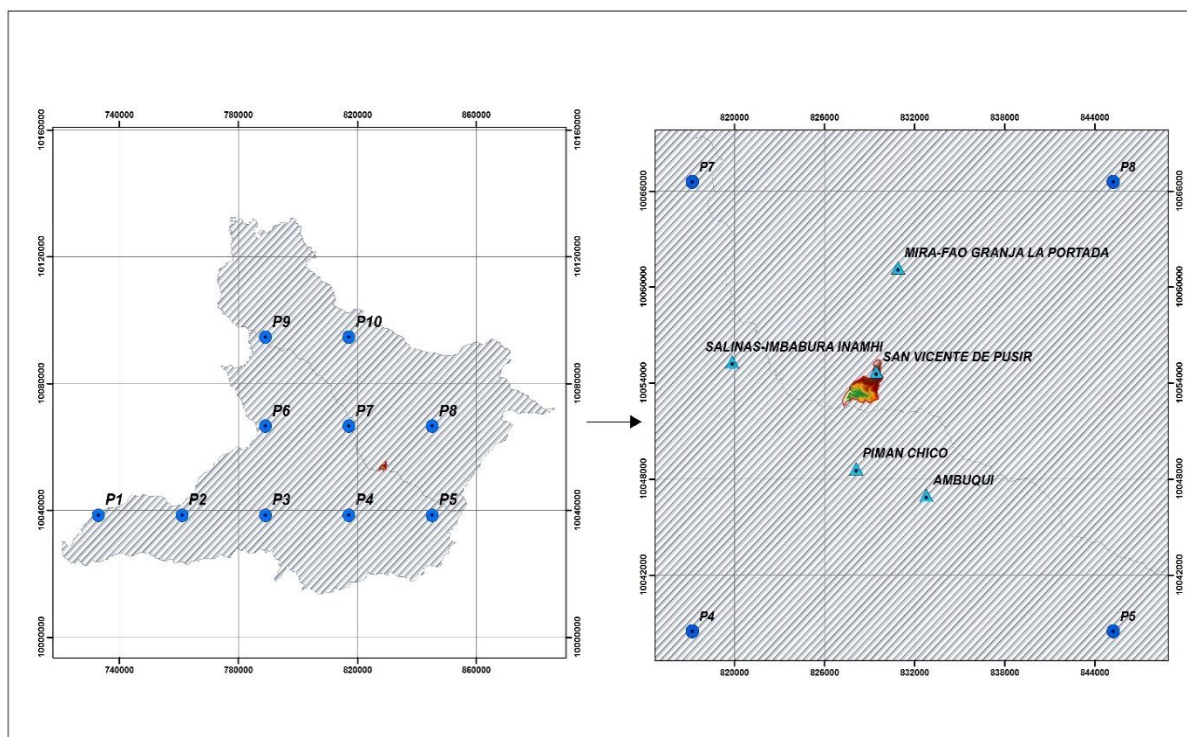


Figura 7. Estaciones metereológicas utilizadas en las imágenes satelitales TRMM 34B

3.5.2. Factor Erodabilidad (K)

La Erodabilidad se la describe como la susceptibilidad, vulnerabilidad y pérdida principalmente por la acción cinética de la lluvia. Mediante el método de Wischmeier y Smith (1978), para definir el factor K en la microcuenca La Merced, se emplearon los datos edáficos más representativos como son: el contenido de materia orgánica, la estructura, la textura y permeabilidad del suelo.

Para el cálculo de la erodabilidad de la microcuenca La Merced se utilizó como base la capa de cobertura de Suelos en formato shaperfile del 2013 a escala 1: 50.000 con sistema de coordenadas WGS 84 –UTM zona 17, obtenida por medio del portal web del SIN. Se obtuvieron algunos parámetros necesarios para el cálculo del factor K como textura y materia orgánica; los faltantes como estructura y permeabilidad se los obtuvo en fuentes bibliográficas.

Textura

Corresponde al índice de la proporción relativa de las diferentes partículas minerales del suelo y su distribución de acuerdo a tamaño y forma. Se puede realizar el cálculo y análisis por medio de laboratorio con el método Bouyoucos que estudia la fase sólida inorgánica del suelo, que consiste en determinar las proporciones relativas de arena, limo y arcilla de una muestra de suelo previamente preparada y tamizada y los resultados se comparan con el triángulo textural figura 8. Según esta metodología, La Merced cuenta con dos clases de textura: media y gruesa (Tabla 7).

Tabla 7. Atributos de la capa de suelos: textura

Código	Sigla	Descripción	Detalle
1	G	Gruesa	arenosa (fina, media, gruesa) (11), arenoso franco (12)
3	M	Media	franco (31), limoso (32), franco arcilloso (< 35% de arcilla) (33), franco arcillo arenoso (34), franco arcillo limoso (35)

Fuente y Elaboración: Adaptado de Atributos Morfo-Edafológicos, 2013

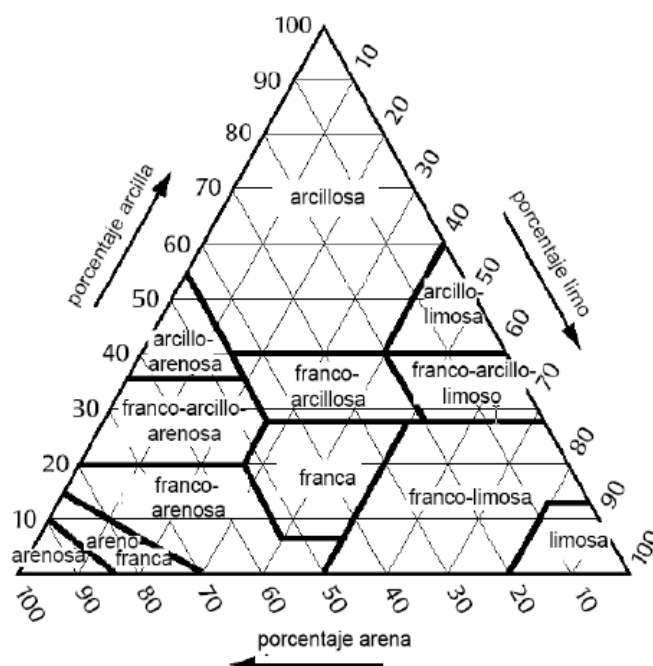


Figura 8. Triángulo Textural

Fuente: USDA (1983)

Materia orgánica

La microcuenca posee suelos arenosos y francos arenosos con un bajo contenido en materia orgánica como se describe en la tabla 8. San Vicente de Pusir y Tumbatú son zonas agroproductivas que se ubican dentro de la microcuenca. Los agricultores optan por usar abonos con productos de desechos de los galpones de pollos y abono verde, aumentando niveles de nitrógeno y fósforo en el suelo.

Tabla 8. Atributos de la capa de suelos: materia orgánica

Código	Sigla	Descripción	Detalle
2	B	Bajo	1 – 2
3	M	Medio	2 – 4

Fuente y Elaboración: Adaptado de Atributos Morfo-Edafológicos (2013).

Estructura del suelo

Se entiende como la forma o arreglo de las partículas fundamentales del suelo (arena, limo y arcilla). Los suelos que presentan buena estructura tienen mejor fertilidad, por facilidad de circulación del aire y el agua, dando resistencia al recurso al no presentar erosiones. Su determinación se realizó mediante observación manual y tacto para lo cual se empleó el manual de comparación de acuerdo a la USLE (Tabla 9).

Tabla 9. Estructura de suelo (Códigos USLE)

Código USLE	Tipo de Estructura
1	Granular muy fina
2	Granular fina
3	Granular media a gruesa
4	Bloques

Fuente y Elaboración: Adaptado de Mancilla (2008).

Permeabilidad

Se asignó el código de acuerdo con la velocidad de infiltración del agua en el suelo. Estos códigos son establecidos por la USLE (Tabla 10).

Tabla 10. Permeabilidad de suelos (Código USLE)

Código USLE	Categoría de Permeabilidad
1	Rápida (más de 12,7 $cm - h^{-1}$)
2	Moderada a rápida (6,3 a 12,7 $cm - h^{-1}$)
3	Moderada (entre 2 y 6,3 $cm - h^{-1}$)
4	Lenta a moderada entre (entre 0,5 y 2 $cm - h^{-1}$)
5	Lenta (entre 0,13 y 0,5 $cm - h^{-1}$)
6	Muy Lenta (menor a 0,13 $cm - h^{-1}$)

Fuente y elaboración: Adaptado de Mancilla (2008).

Una vez realizado el análisis de los datos de: textura otorgando valores y códigos de permeabilidad y estructura de las variables de acuerdo a las ecuación 4 y 5 desarrollada por Wischmeier y Smith (1978) se procedió de la siguiente manera.

Ecuación 4. Erodabilidad

$$K = \frac{2,1 M^{1.14} (10^{-4})(12 - MO) + 3.25 (s - 2) + 2.5 (p - 3)}{100}$$

Ecuación 5. Tamaño de partículas

$$M = (\% \text{ limo} + \% \text{ arena muy fina})(100 - \% \text{ arcilla})$$

Donde:

K = Factor de erodabilidad del suelo (t.ha.h) / (ha.Mj.mm)

MO = Materia orgánica (%)

S = Código de la estructura del suelo

p = Código de permeabilidad

M = Producto de las fracciones del tamaño de las partículas

Para el procesamiento de este factor se ingresó un nuevo campo de nombre Factor K a la tabla de atributos de la capa de suelos, posteriormente se calculó con la ayuda de *field calculator* de ArcGIS, las fórmulas ya mencionadas y finalmente con la herramienta *Polygon to raster* se transformó de formato shapefile a formato raster.

3.5.3. Factor de Longitud del Terreno (LS)

La longitud (L), se la define como la distancia donde se origina el flujo superficial del terreno, hasta el punto final donde se depositan los sedimentos provocados por la lluvia o un canal definido, así como la pendiente (S del terreno), que es pérdida de suelo que ocurre en un terreno con un grado de inclinación. El factor longitud de pendiente o LS combinado se calculó para la microcuenca hidrográfica mediante la ecuación 6 desarrollada por Moore y Burch (1986) que predice los efectos de la topografía sobre la erosión; con ayuda de ArcGIS y las herramientas contenidas en el módulo de *Spatial analysis* y como dato de entrada el DEM de con resolución de 3 metros.

Ecuación 6. Longitud del terreno

$$LS = \left(\frac{\text{flow accumulation} \times \text{cell size}}{22,13} \right)^{0,4} \times \left(\frac{\text{sin slope}}{0,0896} \right)^{1,3}$$

Donde:

LS= Basada en la acumulación del flujo de caudal y la inclinación de la pendiente (longitud de la pendiente y pendiente inclinada)

Flow accumulation= Número de celdas que contribuyen al flujo de una celda dada

Cell size=Es la longitud del tamaño de un lado de las celdas (3m)



22.13= Constante de la longitud estándar de la pendiente

Sinslope= Es el seno de la pendiente en radianes

3.5.4. Factor Cobertura Vegetal (C)

El Factor cobertura vegetal o uso de suelo indica la protección vegetal y comportamiento del suelo frente al fenómeno de precipitación y la disminución del efecto erosivo en el suelo. De acuerdo a Kirby y Morgan (1984), el factor (C) es un factor combinado que refleja la influencia de: rotación de cultivos, tipos de cobertura vegetal y el porcentaje de precipitación durante los períodos agrícolas que dejan desprotegido el suelo. Actualmente, ante la variedad de patrones de cobertura terrestre con variaciones espaciales y temporales, fue necesario adquirir una ortofoto del Cantón Bolívar del proyecto SIGTIERRAS del año 2011 con resolución espacial de 0,29 cm, que mediante la técnica de teledetección se procedió a dibujar a detalle los polígonos de uso y cobertura vegetal, luego de realizar el análisis se obtuvo ocho tipos de uso de suelos dentro del área de estudio (Tabla 11).

Tabla 11. Cobertura Vegetal de La Microcuenca La Merced

N°	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
1	<p>Área Erosionada:</p> <p>Suelo sin cobertura vegetal expuesto a factores antrópicos y naturales causando el desgaste continuo y pérdida de nutrientes del mismo.</p>	
2	<p>Cultivo Perenne:</p> <p>Cultivos de ciclo largo con periodos de doce o más meses dependiendo del cultivo a definirse.</p>	
3	<p>Frutales:</p> <p>Conjunto de árboles o especies de plantas productoras de frutos constituidas de óvulos, flor y semillas necesarias como alimento del hombre</p>	

Continúa...

4

Infraestructura:

Unión de conjuntos técnicos, servicios e instalaciones necesarios para el desarrollo de actividades cotidianas del ser humano que ocupa un lugar en el espacio.



5

Suelo Barbecho:

Suelo en proceso de recuperación almacenando materia orgánica para el siguiente ciclo vegetativo recuperando su textura, estructura y humedad



6

Suelo Sin Cobertura Vegetal:

Suelo sin presencia de materia orgánica para recubrir la capa superficial del sustrato.



7

Vegetación Arbustiva Quebrada:

Vegetación xerofítica que se desarrolla en áreas como ladeas y quebradas.



8

Vegetación Xerofítica:

Especies adaptables a medios áridos, semiáridos y subhúmedas con escasez de agua.



Fuente: Mapa de cobertura vegetal de la Microcuenca La Merced
Elaborado por: Las autoras

Considerando la importancia de la cobertura vegetal en la protección del recurso suelo ante los elementos erosivos: naturales hídrico y eólico, antrópicos por la transición de bosques xerofíticos a cultivos y posteriormente a barbechos considerando como preparación del suelo

que eliminan toda vegetación y también la zona de la raíz sin protección. Se utilizó los valores asignados al Factor C en las Tablas 8 y 9 de los estudios realizados por Wischmeier y Smith (1978) para el área de estudio de la Merced se asignaron valores al Factor C de acuerdo a las ocho clases de coberturas vegetal clasificadas mediante la ortofoto como se puede apreciar en la tabla 12:

Tabla 12. Valores asignados al Factor C

Clases	Área (ha)	Factor C
Área erosionada	1,33	0,01
Cultivo perenne	33,76	0,36
Frutales	44,71	0,22
Infraestructura	9,94	1,00
Suelo barbecho	50,16	0,35
Suelo sin cobertura vegetal	108,08	1,00
Vegetación arbustiva	24,52	0,08
Vegetación xerofítica	68,58	0,20

Fuente y Elaboración: Adaptado de Wischmeier y Smith (1978).

3.5.5. Factor prácticas de conservación

Según el INAFAP (2007), las prácticas mecánicas o manejo del terreno son un factor atenuante del proceso erosivo, su principal objetivo es controlar los escurrimientos superficiales para disminuir la erosión hídrica en terrenos con pendientes.

El factor P se refiere al manejo y conservación de la cobertura vegetal y el recurso suelo, mitigando las pérdidas por erosión hídrica, dentro del área de estudio no existen dichas prácticas de protección y se consideró omitir en el cálculo de la pérdida de suelo dentro de la ecuación RUSLE.

Debido a que no existe información con respecto al factor P en el área de estudio, se asignó un valor constante a toda la microcuenca $P = 1,0$; metodología similar a estudios realizados por López (2017), que asigna un valor constante de 1,0 en el cálculo de la erosión hídrica en la microcuenca.

3.5.6. Cálculo del Modelo RUSLE

El modelo RUSLE fue calculado con la ecuación 7 desarrollada por Renard et al., (1997):

Ecuación 7. Modelo RUSLE

$$\text{Factor } A = (\text{factor } R) * (\text{factor } K) * (\text{factor } LS) * (\text{factor } C)$$

Factor A= Pérdida de suelo en t/ ha/ año

Factor R= Factor erosividad de la lluvia (Mj.mm)/(ha.h.año)

Factor K= Factor erodabilidad (t.ha.h)/(ha.Mj.mm)

Factor LS= Factor de longitud y pendiente del terreno (adimensional)

Factor C= Factor cobertura y manejo de la vegetación (adimensional)

3.6. Ecuación W.E.Q (Wind Erosion Equation)

Para calcular los factores del modelo WEQ se realizó el siguiente proceso:

3.6.1. Factor Erodabilidad (I)

En el Índice de erodabilidad del suelo se utilizó la capa del factor K obtenida en la ecuación RUSLE

3.6.2. Factor Climático (C)

Los agentes meteorológicos como precipitación y su efecto en la humedad son de importancia dentro del movimiento de partículas del suelo ocasionados por la erosión eólica y el factor climático, según el modelo de Woodruff y Siddoway (1965) está representado por la velocidad del viento, humedad superficial del suelo en un lugar determinado; Panebianco y Buschiazzo (2008) y Buschiazzo y Zobeck (2008) trabajaron en la “Región Semiárida Pampeana de Argentina” desarrollando la ecuación 8, la cual se empleó para este estudio debido a las condiciones climáticas del área de estudio.

Ecuación 8. Factor climático

$$c = 3,86 \left[\frac{U^3}{\left(\frac{P/2,54}{1,8T + 32} \right)^{10/9}} \right]$$

Donde:

C= Factor climático

U= Velocidad media del viento

T= Temperatura media

Velocidad media del viento

La velocidad del viento fue calculada con la suposición de que la velocidad es superior a la necesaria para mover una partícula del suelo, se obtuvo la suma de datos proporcionados por la velocidad del viento (Tabla 13).

Tabla 13. Velocidad del viento

CODIG O	ESTACIONES	COORDENADA X	COORDENADA Y	ALTITUD msnm	VELOCIDA D m/s
M 0086	SAN VICENTE DE PUSIR	829354	10054693	1891	4,599
M 0104	MIRA	830898	10061212	2430	5,587
M 0102	EL ANGEL	840211	10069334	3000	5,454

Fuente y Elaboración: Adaptado de INAMHI (2017).

Temperatura media anual

En la tabla 14 se muestran los valores meteorológicos de temperatura anual, posteriormente se interpoló mediante el algoritmo geoespacial *split* y se obtuvo un archivo raster.

Tabla 14. Temperatura media anual (°C)

CÓDIGO	ESTACIONES	COORDENADAS	COORDENADAS	ALTITUD	PROMEDIO
		X	Y		
M 0086	SAN VICENTE DE PUSIR	829354	10054693	1891	20,163
M 0104	MIRA	830898	10061212	2430	16,712
M 0102	EL ANGEL	840211	10069334	3000	11,855

Fuente: INAMHI, 2017

3.6.3. Factor Rugosidad (K)

El índice de rugosidad superficial fue determinado por la influencia de crestas y surcos creados por labores de labranza, estos tipos de rugosidad reduce la velocidad del viento, actuando como trampas para las partículas transportadas por acción eólica, al menos hasta que la lluvia realice el pulido de la superficie; para identificarlos dentro de la microcuenca se utilizó el shapefile obtenido en el factor C de Cobertura Vegetal de la ecuación RUSLE. En el factor K para el área catastral se utilizó el valor de 1 Stred'anský, Lackóová, Stremjanská y Varga (2015). La ecuación 9 fue desarrollada por Zingg y Wooddruff (1951) y se representa de la siguiente manera:

Ecuación 9. Índice de rugosidad

$$K = 4 \frac{H^2}{I}$$

Donde:

K= Índice de rugosidad

H = Altura de los surcos en mm

I = Distancia de los surcos en mm

Donde K es la rugosidad orientada al suelo; H es la altura de la cresta e I es el espaciado de la cresta. H e I se midieron con calibrador pie de rey y flexómetro.

3.6.4. Factor Longitud en Dirección de los Vientos (L)

Para la realización la ecuación WEQ se consideró la longitud del campo en dirección prevaleciente de la erosión eólica según (Woodruff y Siddoway, 1965); considerando que los vientos tienen tendencia a proceder de diferentes direcciones, de esta forma se dice que no existe una dirección exacta de la erosión según (Eltaif y Gharaibeh, 2011). Por ello en la modelación del modelo WEQ se realizó una clasificación con datos obtenidos del INAMHI de 15 años en distintas estaciones ver tabla 15; por consiguiente se realizó el promedio mensual de cada estación, para obtener la dirección del viento más predominante.

Tabla 15. Predominancia de dirección del viento

ESTACIONES	COORDENADAS		CODIGO	DIRECCIÓN	DIRECCIÓN	DIRECCIÓN	FRECUENCIA
	X	Y		ALTA	MEDIA	BAJA	
SAN VICENTE DE PUSIR	829354	10054693	M 0086	S	N	NE	ALTA
MIRA	830898	10061212	M 0104	NE	NW	SW	MEDIA
EL ANGEL	840280	10069327	M 0102	SE	E	S	BAJA
IBARRA	819230	10036491	M 1240	N	NW	E	MUY BAJA

Fuente y Elaboración: Adaptado de INAMHI (2017).

3.6.5. Factor Cobertura de Vegetación (V)

La erosión eólica afecta a la superficie del suelo sin cobertura vegetal por lo que es necesario los parámetros de vegetación, altura y cobertura del follaje (área foliar) son esenciales para evaluar la erosión eólica (Wischmeier y Smith, 1978). El factor vegetal se determina por la cantidad de cobertura vegetal y los residuos del cultivo en kg/ha. La FAO contribuye con analizar periódicamente los bosques del planeta sus formas de gestión y de aprovechamiento, a través de la Evaluación de los Recursos Forestales (FRA) por lo que el Ecuador contribuye con informes anuales de EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS FORESTALES MUNDIALES, (2015).

El área de estudio se encuentra clasificada en la estratificación vegetal como Bosque Seco Andino (BSA) y FRA, (2015) cita a Evaluación Nacional Forestal, (2013) el cual en su estudio se calculó la biomasa total para BSA con rangos de 1200-1700 mm de precipitación y con más de 5 meses secos, características geográficas y climáticas de la microcuenca, otorgando un valor de 95.82 t/ha, dato de entrada que fue convertido a kg/ha, este valor se asignó al mapa de cobertura vegetal obtenido del factor C del modelo RUSLE, asignando un valor de biomasa en la categoría de vegetación xerofítica para posteriormente multiplicar con el área, y transformar el shapefile a formato raster.

3.6.6. Cálculo del factor WEQ

El modelo WEQ fue calculado con la siguiente ecuación 10:

Ecuación 10. Modelo WEQ

$$\mathbf{Factor\ A} = (\mathbf{factor\ I}) * (\mathbf{factor\ C}) * (\mathbf{factor\ K}) * (\mathbf{factor\ L}) * (\mathbf{factor\ V})$$

Donde:

Factor E= Tolerancia a la pérdida anual de suelo (t)/(ha.año)

Factor I = Factor índice de erodabilidad del suelo (Mj.mm)/(ha.h.año)

Factor K= Factor de rugosidad del surco del suelo (adimensional)

Factor C = Factor climático (adimensional)

Factor L= Factor Longitud del terreno en la dirección prevaleciente de los vientos (adimensional)

Factor V = Factor equivalente de cobertura de vegetación medida en (kg/ha).

3.7. Clavos de Erosión

La técnica de clavos de erosión se instaló en tres cuadrantes.

3.7.1. Ubicación de los cuadrantes

La metodología implantada en este estudio fue observar áreas evidentes de desgaste de la capa superficial de la corteza terrestre, causado por factores antrópicos y naturales, ubicando en el Valle del Chota al norte del Ecuador en la provincia del Carchi (Figura 9), se instalaron tres cuadrantes de 10 por 10 m (100 m²) georreferenciados con coordenadas UTM (Tabla 16). Se procedió a tomar muestras de los tres cuadrantes de suelo con tubos de PVC (diámetro de 3 cm) con la técnica adaptada del barreno, posteriormente se trasladaron al Laboratorio de la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de Calidad del Agro (AGROCAILIDAD), específicamente al Departamento de Suelos, Foliar y Aguas.

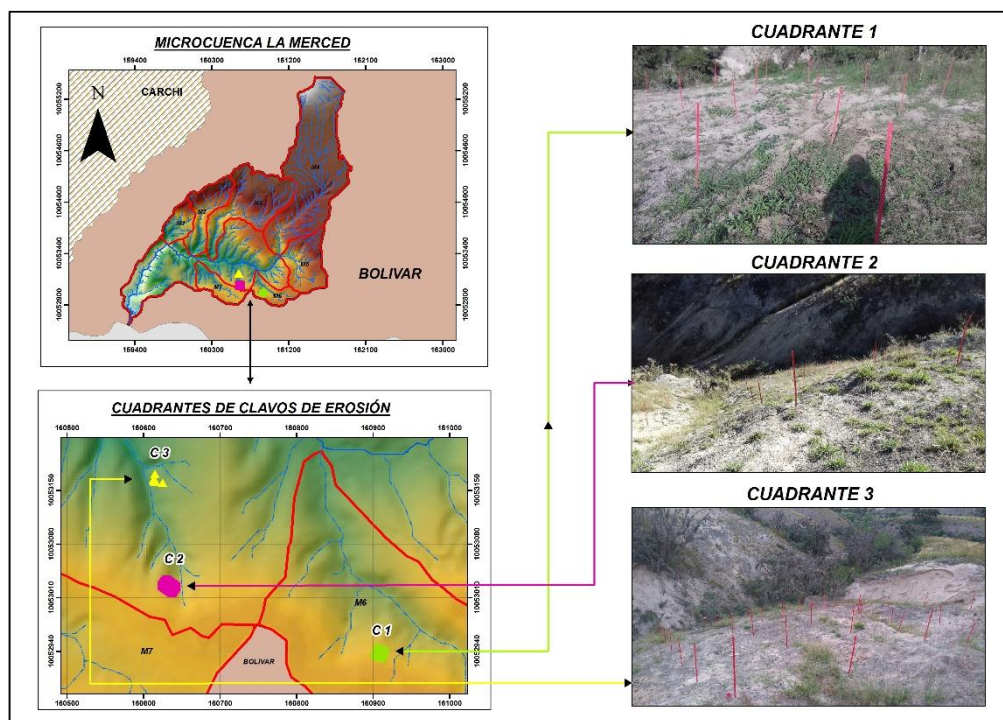


Figura 9. Ubicación de los cuadrantes de clavos de Erosión

Según Pizarro et al., 2008 menciona que las áreas propicias para estudios de erosionabilidad de suelo son aquellas que no presentan un recubrimiento de cobertura vegetal, de tal manera el cuadrante 1 presenta una pendiente leve con existencia de muy poca vegetación xerofítica lo cual es un área idónea para la presente investigación, constituyendo una tipología de suelo de (Typic Ustipsamments), propio del área. El área comprendida del cuadrante 2 presenta una vegetación xerofítica propia de la quebrada ya que no solo existe erosión laminar si no por cárcavas, con una pendiente de 64,77 siendo un factor principal que el desgaste de suelo comprende más a la tipología de (Typic Haplustolls).

Finalmente Pizarro et al., 2008, hace énfasis en que los estudios realizados para calcular pérdida de suelo deben ser en áreas que exista la intervención antrópica en el mal manejo de este recurso por lo que el cuadrante 3 se encuentra en un área baja con presencia de vegetación xerofítica y una tipología de suelo de Aridic Ustorthents constituyendo una zona arida con escasa infiltración de agua natural.

Tabla 16. Coordenadas UTM (WGS 84, Zona 17 S) de los Cuadrantes

Cuadrantes	Coordenadas X	Coordenadas Y	Altitud m.s.n.m	Pendiente %	Cobertura vegetal	Tipo de suelo
1 Zona Alta	828849	10052927	1740	22,77	Vegetación xerofítica con presencia de frutales	Typic Ustipsamments
	828852	10052937	1743			
	828839	10052929	1741			
	828843	10052938	1735			
2 Zona Media	828574	10053011	1731	64,77	Vegetación xerofítica propias de la quebrada	Typic Haplustolls
	828561	10053017	1735			
	828565	10053025	1726			
	828579	10053018	1731			
3 Zona Baja	828561	10053164	1703	40,12	Vegetación xerofítica	Aridic Ustorthents
	828560	10053154	1700			
	828551	10053155	1698			
	828846	10053166	1687			

Fuente: Datos tomados en campo

3.7.2. Caracterización de los cuadrantes

La metodología consistió en medir y cuantificar el proceso de erosión hídrica por factores naturales y antrópicos, a través de 3 cuadrantes con la técnica de clavos de erosión, correspondiente a un método experimental sencillo, directo y de bajo costo, por lo cual es considerado el más preciso en cuanto a la estimación de pérdida de suelo sobre un terreno (Pizarro y Cutiño, 1997).

El método emplea cuadrantes de superficie variable, por lo que no debe existir bermas u orillas en el área de medición, de esta forma el método se ajusta a la realidad del área en estudio como lo mencionan Pizarro y Cutiño (1997). El material utilizado fue clavos de 6 pulgadas, colocados a 1 metro de distancia entre clavo a clavo, alcanzando un total de 96 clavos, por lo que; las dimensiones de cada cuadrante fueron las adecuadas ya que permitió realizar las mediciones mensuales sobre el área. Los cuadrantes se instalaron sobre el suelo sin cobertura vegetal con un rango de pendientes de 22,79% zona alta, 64,77% zona media y 40,12% zona baja.

3.7.3. Medición con la técnica clavos de erosión

El trabajo de investigación fue instalado en el mes de Abril 2017 y posteriormente se realizó la primera toma de datos en mayo 2017 hasta Junio del 218 realizado durante 1 año 2 meses, en periodos mensuales permitiendo obtener un promedio de pérdida se suelo (Figura 10). El registro de mediciones consistió en utilizar un calibrador pie de rey digital que permitió una medición exacta de pérdida de sustrato, para lo cual se colocó el calibrador en la rodela o arandela hasta la parte superior del clavo obteniendo el valor correcto de pérdida de sedimentos (Anexo 3).



Figura 10. Instalación de cuadrantes mes de Abril 2017

3.7.4. Densidades

Se consideró la densidad aparente y densidad real del suelo

Densidad Aparente

La densidad aparente es el peso de las partículas sólidas en un volumen de suelo intervenido (espacio poroso + sólidos). En esta investigación se procedió a determinar utilizando el método del cilindro. Los resultados se expresaron en g/cm^3 y luego se procedió a transformar a tonelada por hectárea. Por su parte la ecuación de densidad Parente fue por Shoji; Nanzyo y Dahlgren (1993).

Ecuación 11. Fórmula de la densidad Aparente

$$Da = \frac{Ms}{Vt}$$

Donde

Da= densidad aparente

Ms=peso o masa del suelo

Vt=volumen del suelo

Densidad Real

La obtención de datos para la densidad real hace referencia a la relación entre el volumen y la masa de las partículas del suelo, cuya fórmula representa el peso seco de la muestra sobre el volumen de los sólidos de la muestra. Los resultados se expresaron en g/cm^3 que posteriormente se expresó en t/ha (Anexo 1, 2).

3.7.5. Cuantificación de la erosión hídrica superficial

Para obtener resultados de erosión hídrica se procedió a cuantificar los datos obtenidos en campo, mediante la técnica clavos de erosión para lo cual se realizó el cálculo del cociente entre la sumatoria de las mediciones del total de clavos que presentaron erosión y considerando el valor cero a los clavos que mostraron sedimentación y aquellos que no presentaron variación. Para obtener el promedio anual de los clavos de erosión se procedió a la sumatoria de promedios

mensuales, dividido para los meses establecidos en el estudio. En este caso se consideró el valor cero a los clavos donde no hubo erosión ni sedimentación. Para obtener la cuantificación del suelo erosionado se tomó en cuenta las unidades t/ha para el periodo de estudio, se transformó las medidas de espesor o altura de suelo erosionado de milímetros a metros y se multiplicó por el valor de la densidad aparente y área de cada cuadrante en estudio Da (t/m^3) Hudson (1976). La expresión matemática que determina estos procesos, planteada por Cuitiño (1999) y posteriormente redefinida por Pizarro y Cuitiño (2002), se presenta a la ecuación 12:

Ecuación 12. Suelo sedimentado o erosionado

$$X \left(\frac{t}{ha} \right) = Y * Da * A$$

Donde:

X= suelo sedimentado o erosionado ($\frac{t}{ha}$)

Y= altura del suelo erosionado o sedimentado (m)

Da= densidad aparente del suelo ($\frac{t}{m^3}$)

A= área de cada cuadrante (m^2).

3.7.6. Toma de muestras para análisis de sólidos totales, disueltos

Se estableció tres criterios para el punto de muestreo accesibilidad, representatividad y seguridad, según el Instituto Ecuatoriano De Normalización (2011). Para la metodología empleada en la investigación se tomó en cuenta la norma INEN 1105. La metodología en cuestión se realizó “*in situ*” permitió cuantificar el nivel de partículas de suelo que se encuentran en suspensión presentes por acción de arrastre natural del recurso agua hacia el punto de aforo de la microcuenca La Merced en el periodo de junio 2017- junio 2018. La toma de muestras se realizó según Vives (2003).

Procedimiento:

- Llenar la botella Nansen o Niskin con una porción de agua del cuerpo hídrico muestreado.

- Registro de localización del punto de muestreo real con el GPS.
- Identificación de la muestra.
- La toma de muestra se realizó sumergiendo la botella en la columna de agua evitando la inclusión de aire por flujo turbulento.

Para medir el caudal de la microcuenca La Merced se procedió a utilizar la fórmula según Bello y Pino (2000) y se expresa en la ecuación 13; en la cual se procedió a realizar 5 repeticiones de medición de caudal, para una obtención exacta de datos.

Ecuación 13. Medición de caudal

$$Q = V/t$$

Donde

Q = Caudal

V = Volumen

t = Tiempo

3.8. Validación del modelo

Para validar el modelo RUSLE, se realizó entre los datos de erosión medidos en campo mediante la técnica de clavos de erosión de los tres cuadrantes t/ha/año; con la herramienta de Spatial Analysis: Extract Values Multi Points se extrajo los valores del modelo RUSLE t/ha/año de los 96 clavos de los tres cuadrantes instalados en la microcuenca, para lo cual la validación del modelo RUSLE se lo realizó mediante método de Nash y Sutcliffe (1970) tomando valores simulados y observados. Los indicadores de eficiencia del método fue correlación lineal polinómica de determinación (R^2) y su constante.

El modelo WEQ no se validó debido a la falta de información; constituyéndose como una limitación del modelo WEQ.

3.8.1. Fórmula de correlación de Nash

El criterio de Nash-Sutcliffe, (1970) es uno de los más usados en estudios hidrológicos; puede variar de $-\infty$ a 1. Una eficiencia 1 corresponde a una combinación perfecta de descarga modelada con los datos observados. Una eficiencia de 0 indica que las reducciones del modelo son tan precisas como la media de los datos observados, mientras que una eficiencia menor que cero ($E < 0$) se produce cuando la media observada es un mejor predictor que el modelo.

Ecuación 14. Coeficiente de eficiencia (Nash-Sutcliffe)

$$NTD = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (q_{ci} - q_{oi})^2}{\sum_{i=1}^n (q_{oi} - q_m)^2}$$

Donde:

NTD= es la eficiencia del modelo

q_{ci} = Valores observados del evento

q_{oi} = Valor simulado del evento

q_{oi-m} = Media de los valores observados

De tal manera que se procedió a calcular los datos: simulados (RUSLE) y observados (Técnica de clavos de erosión); de las tres parcelas instaladas, para consecutivamente categorizar dichos resultados finales según el criterio de la fórmula de Nash (Tabla 17).

Tabla 17.- Valores Referenciales del criterio de Nash

E	AJUSTE
<0.2	Insuficiente
0.2 – 0.4	Satisfactorio
0.4 – 0.6	Bueno
0.6 – 0.8	Muy Bueno
>0.8	Excelente

Fuente: (Nash, 1970)

3.8.2. Descripción de correlación de sedimentación y erosión

Correlación de Erosión

Para realizar la correlación de erosión se realizó la clasificación de los valores más altos de sólidos secos totales y clavos de erosión recalando los datos más relevantes obtenidos en campo; los meses más notables fueron de Enero, Febrero, Abril, Mayo, Noviembre y Diciembre, para finalmente realizar un gráfico de correlación entre estos dos factores; mediante la fórmula de correlación lineal de tendencia polinómica o curvilínea por Galton (1889).

Ecuación 15. Correlación lineal polinómica

$$y = b_0 + b_1X$$

Donde:

y = variable independiente

b= variables que proporcionan el estudio para el calculo

Correlación de Sedimentación

La realización de correlación de sedimentación se ejecutó mediante la clasificación de los valores menores comprendidos en los meses de Marzo, Junio; Julio, Agosto, Septiembre y Octubre, para posteriormente realizar la correlación entre solidos secos totales y clavos de erosión; mediante la fórmula de correlación lineal de tendencia polinómica o curvilínea por Galton (1889).

Ecuación 16. Correlación lineal polinómica

$$y = b_0 + b_1X$$

Donde:

y = Variable independiente

b = Variables que proporcionan el estudio para el calculo

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Tasa de pérdida de suelo por erosión hídrica y eólica mediante las ecuaciones RUSLE y WEQ

Los resultados obtenidos al aplicar las ecuaciones RUSLE y WEQ se presentan a continuación

4.2. Modelo RUSLE

El cálculo de la tasa de pérdida de suelo con la ecuación RUSLE se estimó aplicando los siguientes factores:

4.2.1. Factor de erosividad (R)

El mapa de erosividad obtenido con los datos del INAMHI muestra la distribución espacial del cálculo del factor R, que depende principalmente de la elevación debido a la relación entre precipitación y altitud, con 128,63 ha de cultivos con mayor representación en la parte alta es por eso que se observa en la figura 12 A una mayor erosividad de la lluvia. La parte baja de la microcuenca posee pendientes entre 20% a 60%, donde se presentan arrastres significativos de sedimentos mediante la escorrentía hacia los drenajes y transportados al cause principal del río Chota. Los valores del factor R varían entre: 10,76 a 11,29 Mj.mm/ha.h.año, y con un valor medio de 10,98 Mj.mm/ha.h.año, para una promedio de precipitación anual de 500 mm.

El índice IMF muestra una agresividad climática baja en niveles de erosividad de la lluvia, el mayor valor se registró en la estación meteorológica Piman Chico (Tabla 18) que se encuentra al sur de la microcuenca a una distancia de 6,15 km.

Tabla 18. Índice de Modificado de Fournier (IF)

CÓDIGO	ESTACIONES	IMF
M104	MIRA	9,29
M314	AMBUQUI	8,64
M597	PIMAN CHICO	16,98
M603	SALINAS-IMBABURA	6,44
M0086	SAN VICENTE DE PUSIR	12,49

En la figura 12B se muestra el factor R obtenido con los datos de precipitación de las imágenes satelitales TRMM 3B42, como resultado se obtuvo valores entre 18,11 a 10,05 Mj.mm/ha.h.año, con un valor medio de 18,07; el dato obtenido en el IMF mediante las imágenes satelitales se obtuvo que la estación meteorológica Salinas-Imbabura tiene mayor representación de precipitación (Tabla 19).

Tabla 19. Índice de Modificado de Fournier (IF)

CÓDIGO	ESTACIONES	*IMF
M104	MIRA	18,34
M314	AMBUQUI	17,99
M597	PIMAN CHICO	18,16
M603	SALINAS-IMBABURA	18,39
M0086	SAN VICENTE DE PUSIR	18,05

* Daros extraídos de las imágenes satelitales

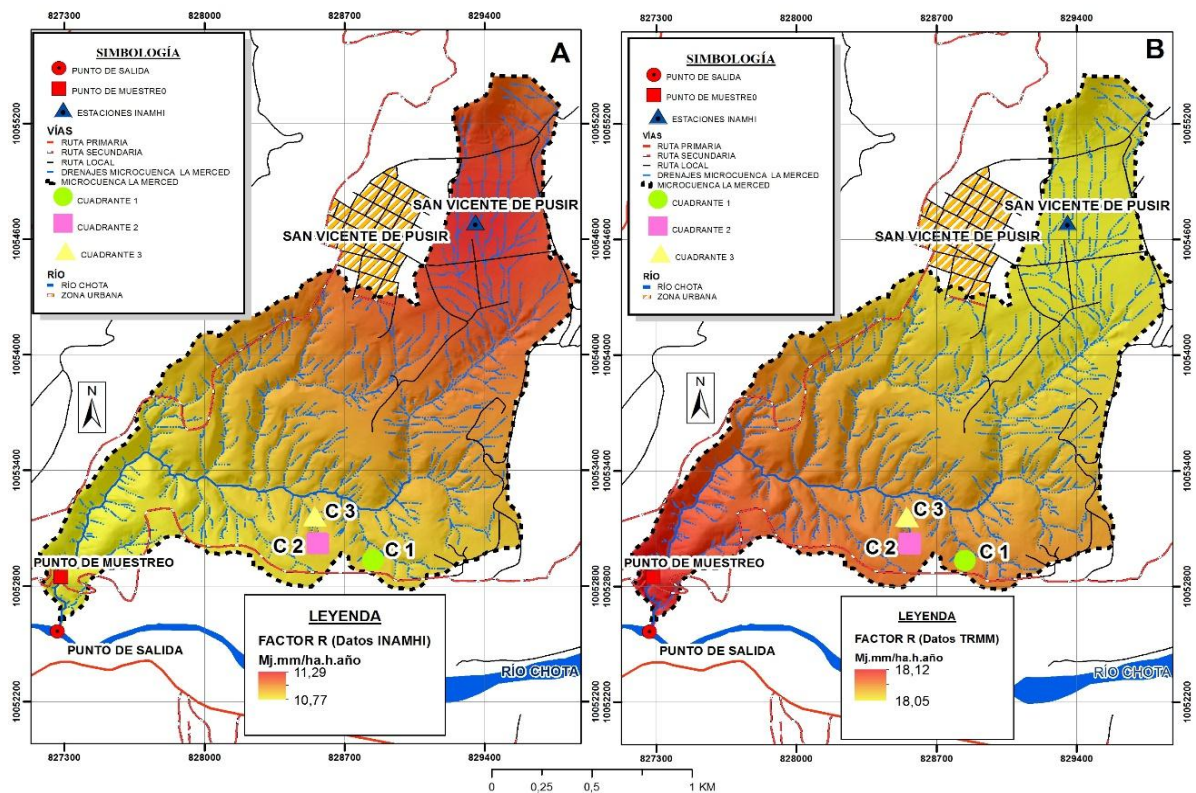
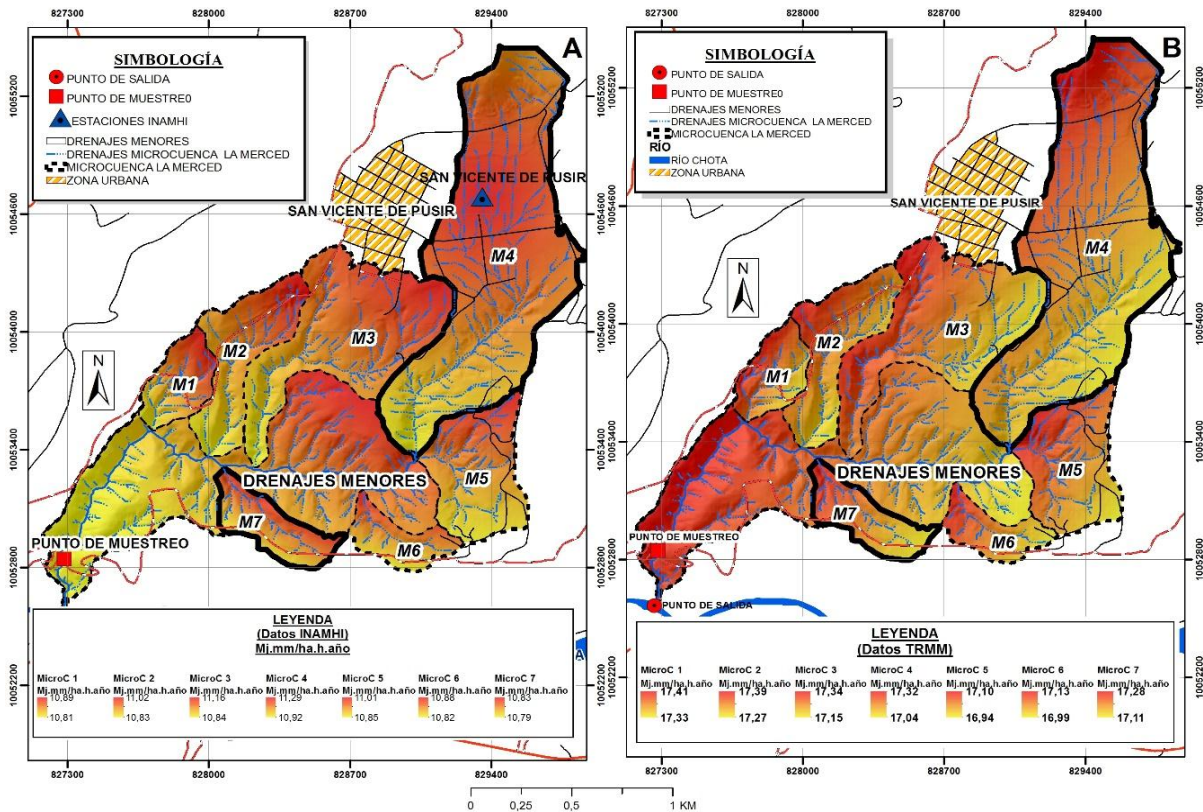


Figura 11 A y 11B. Factor Erosividad (R) de la microcuenca (INAMHI: Base de datos de 15 años, TRMM periodo Mayo 2017- Abril 2018)

La microcuenca se dividió en siete drenajes representativos los cuales fueron nombrados como microcuencas (Figuras 12 A y 12B) con el objetivo de nombrar geográficamente y analizar la pérdida de suelo con mayor precisión. Para el factor R se obtuvieron los valores medios de cada drenaje, en la tabla 20 se observa que la microcuenca 4 alcanzó el valor más alto de 11,13 Mj.mm/ha.h.año considerando la altitud y un 87,23% de cobertura vegetal; y la microcuenca 7 con un valor menor de 10,82 Mj.mm/ha.h.año teniendo en cuenta que posee pendientes significativamente pronunciadas y con una cobertura vegetal de 36,84%, también se puede decir que la microcuenca 1 que se encuentra en la misma ubicación espacial sin embargo esta posee un 56,6 % de vegetación xerofítica (Figura 12 A).

En la figura 12 B se observa que el IMF es más representativo en la partes bajas de la microcuencas y en la tabla 20 se muestra los datos obtenidos se muestra que la microcuenca 7 obtuvo el valor medio más alto de 18,087Mj.mm/ha.h.año y el valor medio más bajo se ubica

en la microcuenca 4 con 18,054 Mj.mm/ha.h.año con los datos de las imágenes satelitales TRMM3B42.



Figuras 12 A y 12B. Factor Erosividad (R) a nivel de drenajes de la microcuenca (INAMHI: Base de datos de 15 años, TRMM periodo Mayo 2017- Abril 2018)

Tabla 20. Valores medios del factor R a nivel de drenajes

EROSIVIDAD (R)	*VALORES MEDIOS Mj.mm/ha.h.año Datos INAMHI	**VALORES MEDIOS Mj.mm/ha.h.año Datos TRMM 3B42
Microcuenca 1	10,85	18,082
Microcuenca 2	10,91	18,072
Microcuenca 3	11,02	18,061
Microcuenca 4	11,13	18,054
Microcuenca 5	10,92	18,069
Microcuenca 6	10,84	18,080
Microcuenca 7	10,82	18,087

*Base de datos INAMHI hasta el 2015

** Datos TRMM34B año actual

4.2.2. Factor de erodabilidad del suelo (K)

El porcentaje de pérdida de suelo por índice de erosión de lluvias (factor K) dentro de la microcuenca, con textura de suelo predominante arenoso y franco arenoso con un leve contenido de arcillas, bajo contenido de materia orgánica y permeabilidad media; tuvo como resultado espacial variaciones entre 0,16 a 0,49 t.ha.h/ha.Mj.mm (Figura 13), con un valor medio de 0,29 t.ha.h/ha.Mj.mm. Lopéz, (2017) en los resultados muestra rangos de erodabilidad de 0,006 a 0,72 Mg.ha.hr/ha.MJ.mm, y menciona que en zonas donde se registran valores bajos son suelos con textura franco arenosa, disminuyendo la existencia de escorrentía superficial por su alta capacidad de infiltración. En la parte alta de la microcuenca los datos obtenidos mostraron que es menos propensa a la pérdida de suelo; por el contrario, la parte baja de la microcuenca demostró ser más susceptible a la erosión por su irregular relieve, longitud y gradiente de la pendiente en la cercanía de las quebradas, falta de cobertura vegetal y ninguna práctica de conservación de suelos.

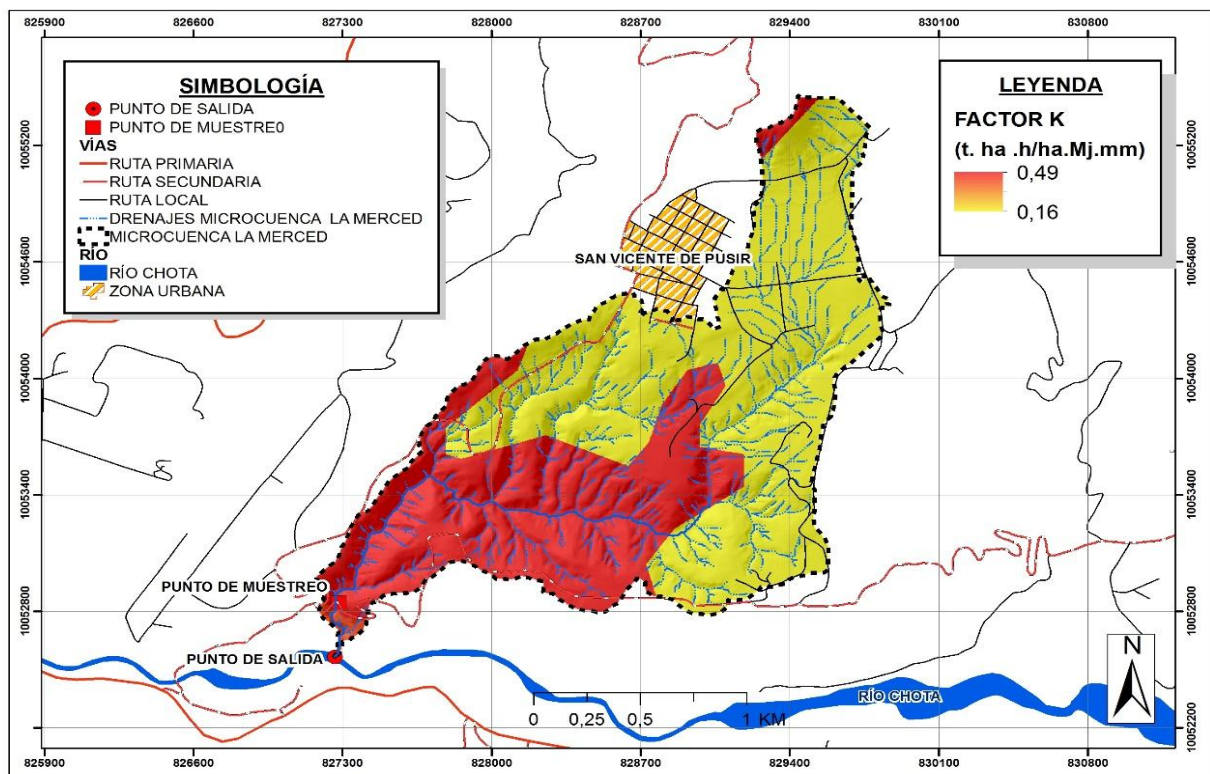


Figura 13. Factor Erodabilidad (K) de la microcuenca La Merced.

De acuerdo con los resultados obtenidos del factor K en las siete microcuencas (Figura 14), se obtuvieron los valores medios, los cuales indican que el valor más alto se encuentra en la microcuena 7 con 0,49 t.ha.h/ha.Mj.mm, debido a las fuertes pendientes que favorecen el movimiento de las partículas de suelo, y por tanto la mayor vulnerabilidad al impacto del agua.

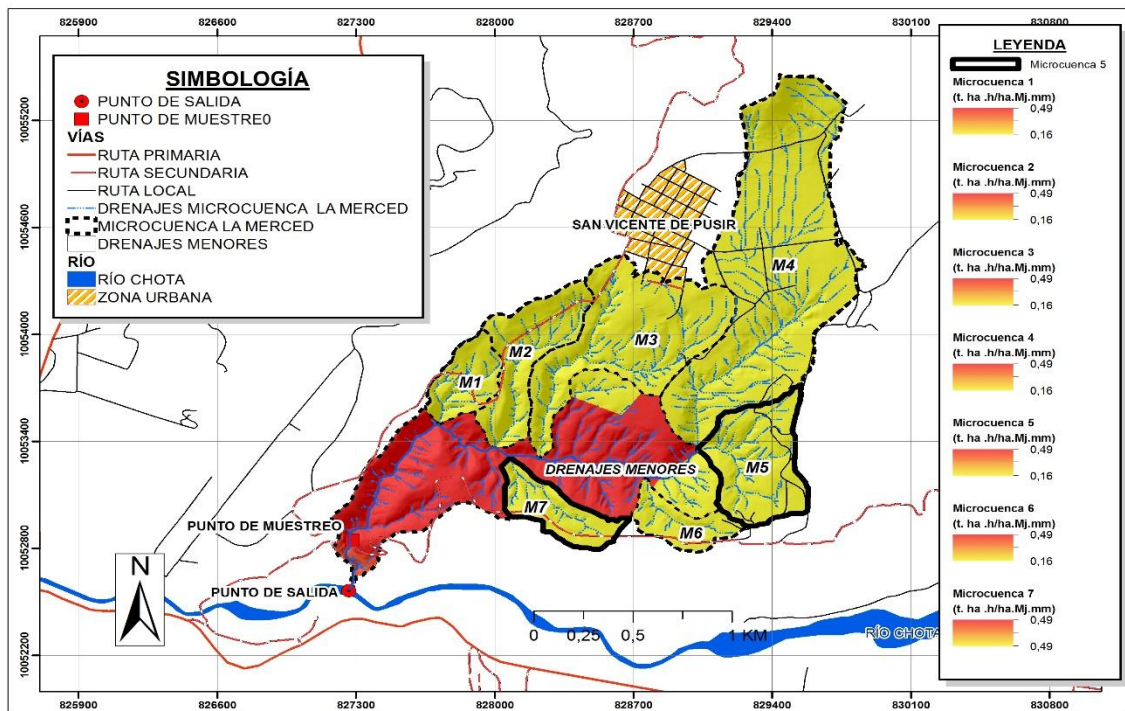


Figura 14. Factor Erodabilidad (K) de la microcuena La Merced a nivel de drenajes

La microcuena 5 muestra el menor valor medio de erodabilidad con 0,18 t.ha.h/ha.Mj.mm (Tabla 21), a pesar de las pendientes fuertes, cuenta con 62,22 ha de cultivos, a diferencia de la microcuena 7 que posee 5,08 ha de cultivos; en base a este dato se menciona que existe una protección vegetal significativa para la protección física y biológica del recurso suelo.

Tabla 21. Valores medios del factor K a nivel de drenajes

ERODABILIDAD (K)	VALOR MEDIO (t. ha h)/(ha.Mj.mm)
Microcuena 1	0,34
Microcuena 2	0,28
Microcuena 3	0,24
Microcuena 4	0,19
Microcuena 5	0,18
Microcuena 6	0,20
Microcuena 7	0,49

4.2.3. Factor de longitud del terreno (LS)

Se obtuvieron valores de 0 a 75,29 (Figura 15) con incidencia de la inclinación del terreno en zonas montañosas y fuertes pendientes; en el raster de acumulación de flujo que calcula la capacidad de transporte de sedimento de flujo superficial por celda; y se obtuvo como resultado un valor medio de 1,52 ya que cuanto mayor es la extensión de la pendiente mayor será la velocidad de escurrimiento (Renard et al., 1997).

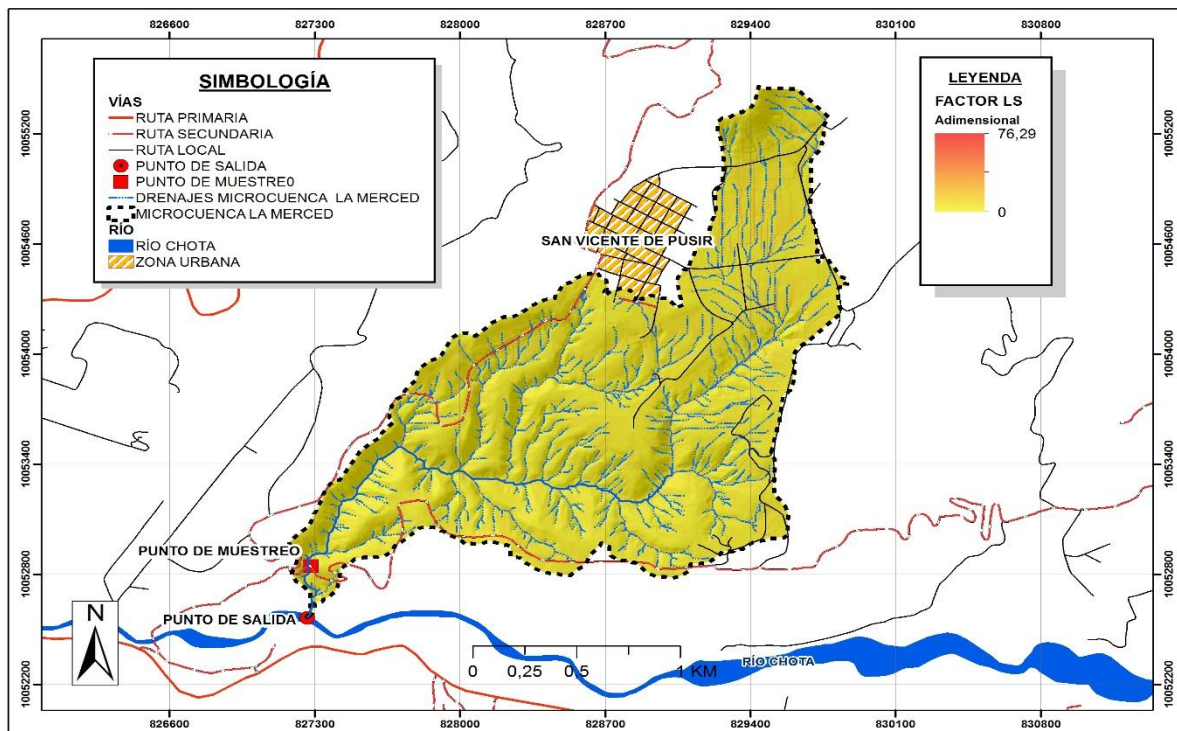


Figura 15. Factor Longitud del Terreno (LS) de la microcuenca La Merced

Los resultados del factor LS en las siete microcuencas del área de estudio que se pueden observar en la figura 16. Más del 72% de la extensión de la Merced presenta pendientes de 20% a 90% consideradas pendientes entre planas y abruptas y siendo un factor de relieve influyente en la erosión del área de estudio.

El valor medio más representativo fue de la microcuenca 4 con 1,62 para una longitud de 47,67 m y el resultado más bajo se encuentra en la microcuenca 6, donde se evidencia un valor medio de 1,19 (Tabla 22) con longitudes de 20,16 y 19,11 m consideradas áreas pequeñas según el drenaje de la cuenca.

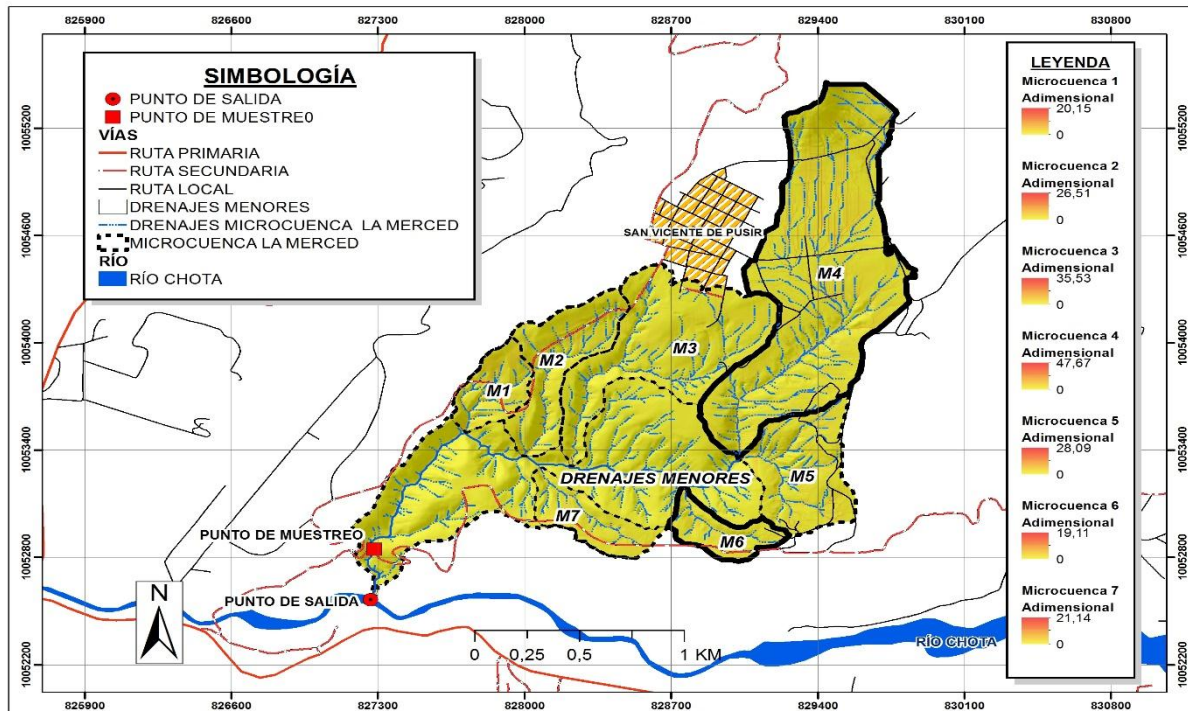


Figura 16. Factor Longitud del Terreno (LS) a nivel de drenajes de la microcuenca La Merced

Tabla 22. Valores medios del factor LS a nivel de drenajes

LONGITUD DEL TERRENO (LS)	VALOR MEDIO (adimensional)
Microcuenca 1	1,28
Microcuenca 2	1,34
Microcuenca 3	1,42
Microcuenca 4	1,62
Microcuenca 5	1,29
Microcuenca 6	1,19
Microcuenca 7	1,23

4.2.4. Factor de cobertura y manejo de vegetación (C)

En la tabla 23 se indican los valores del factor C para cada categoría de uso del suelo y cobertura vegetal; y se observa que la Vegetación Arbustiva de Quebrada, Vegetación Xerofítica, Cultivo Perenne y Frutales, tienen menores valores del factor C, esto debido a la protección de la cobertura vegetal, el suelo en barbecho presenta un valor bajo ya que permanece sin ningún tipo de cubierta vegetal en la época seca del año.

Tabla 23. Valores del factor C con referencia en Wischmeier y Smith (1978)

COBERTURA DEL SUELO	VALORES C	SUPERFICIE	
		ha	%
Área Erosionada	0,01	1,33	0,39
Cultivo Perenne	0,36	33,76	9,90
Frutales	0,4	44,71	13,11
Infraestructura	1,0	9,94	2,91
Suelo Barbecho	0,35	50,15	14,70
Suelo Sin Cobertura Vegetal	1,0	108,08	31,69
Vegetación Arbustiva (Quebrada)	0,34	24,52	7,19
Vegetación Xerofítica	0,006	68,58	20,11
	Total	341,07	100,00

Según los datos de cobertura vegetal obtenidos mediante el empleo de la fotografía del proyecto SIGTIERRAS del año 2011, se clasificó por clases y área de extensión obteniendo ocho categorías de uso del suelo y cobertura vegetal, y como resultado se obtuvieron datos que varían entre 0,01 a 1,0 (Figura 17), con un valor medio de 0,49 correspondiente al factor C de cobertura vegetal.

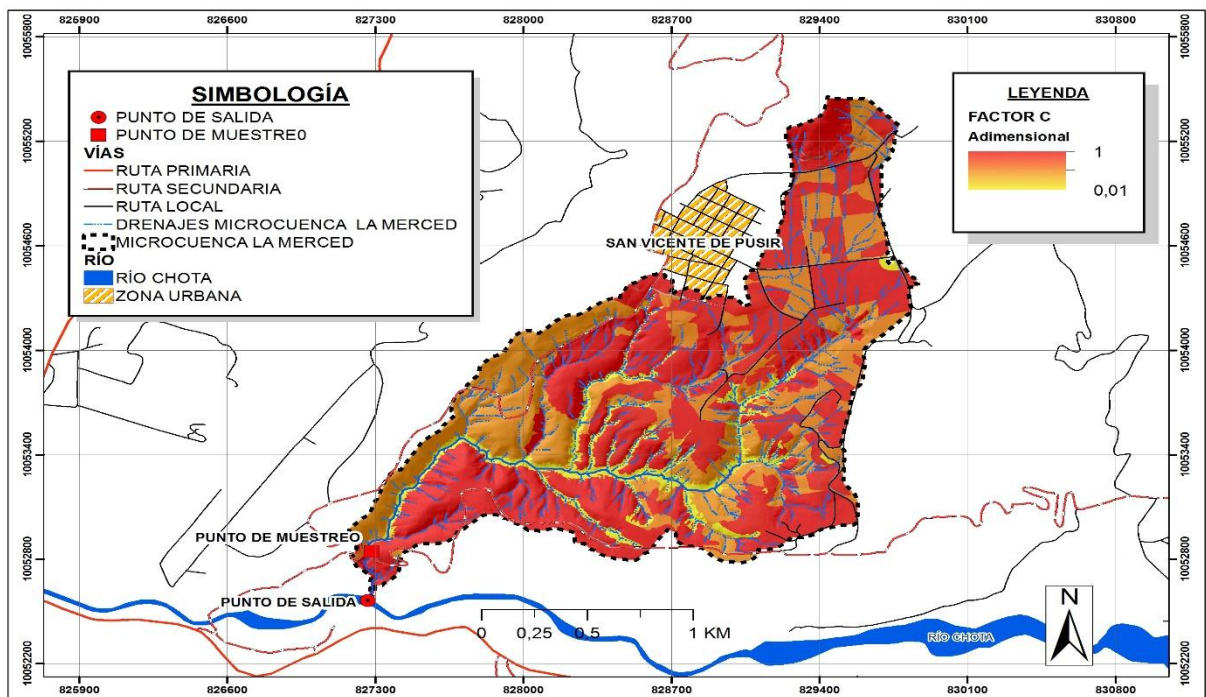


Figura 17. Factor Cobertura Vegetal (C) de la Microcuenca La Merced

En la microcuenca 7 se obtuvo el valor más significativo de 0,79 este resultado se debe a la pérdida de suelo por falta de prácticas de manejo y además a que el 63,08 % del suelo esta desprovisto de cobertura vegetal que impida la pérdida de suelo. En la microcuenca 1 se encuentra el valor más bajo que es de 0,20 (Figura 18); esto se debe porque tiene 100% de cobertura vegetal entre vegetación xerofítica y vegetación de quebrada (Tabla 24). Zapata, 2015 explica que los menores valores incorporados al modelo RUSLE del factor de C expresarán menores tasas de erosión y viceversa, los mayores valores expresarán mayores tasas de erosión.

Tabla 24. Valores medios del factor C a nivel de drenajes

COBERTURA Y MANJEJO VEGETAL	VALOR MEDIO adimensional
Microcuenca 1	0,20
Microcuenca 2	0,49
Microcuenca 3	0,62
Microcuenca 4	0,40
Microcuenca 5	0,51
Microcuenca 6	0,39
Microcuenca 7	0,79

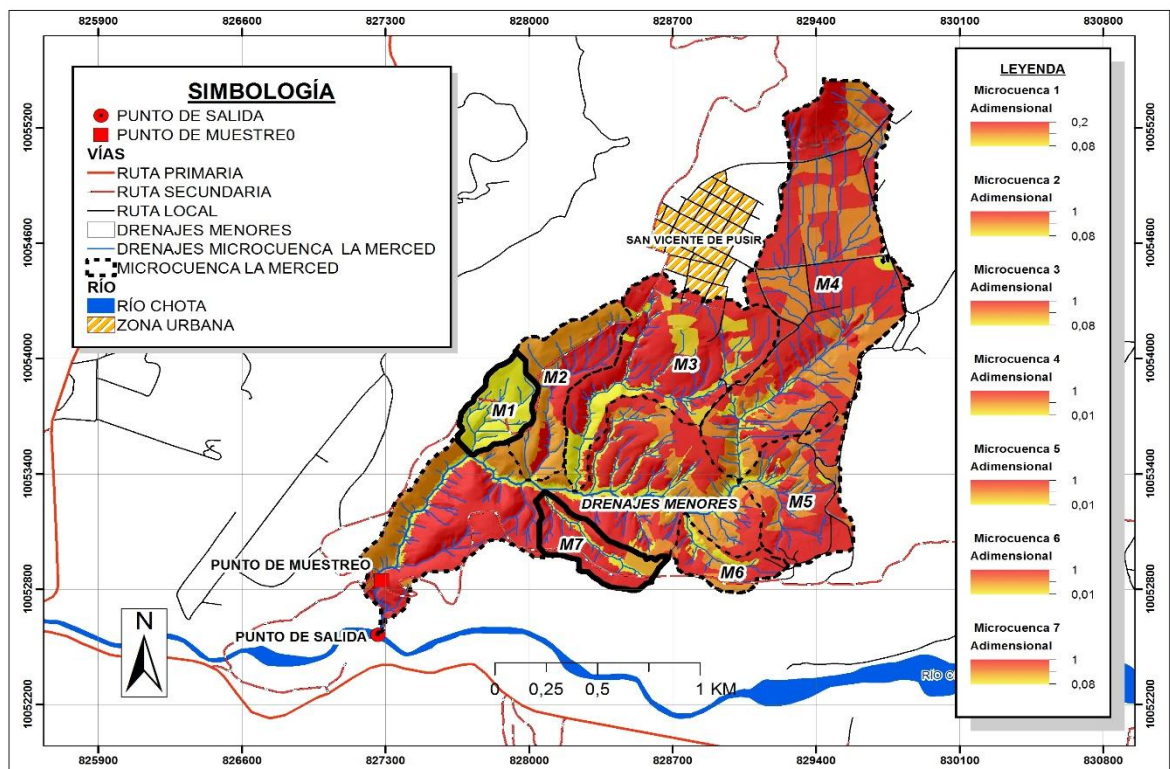
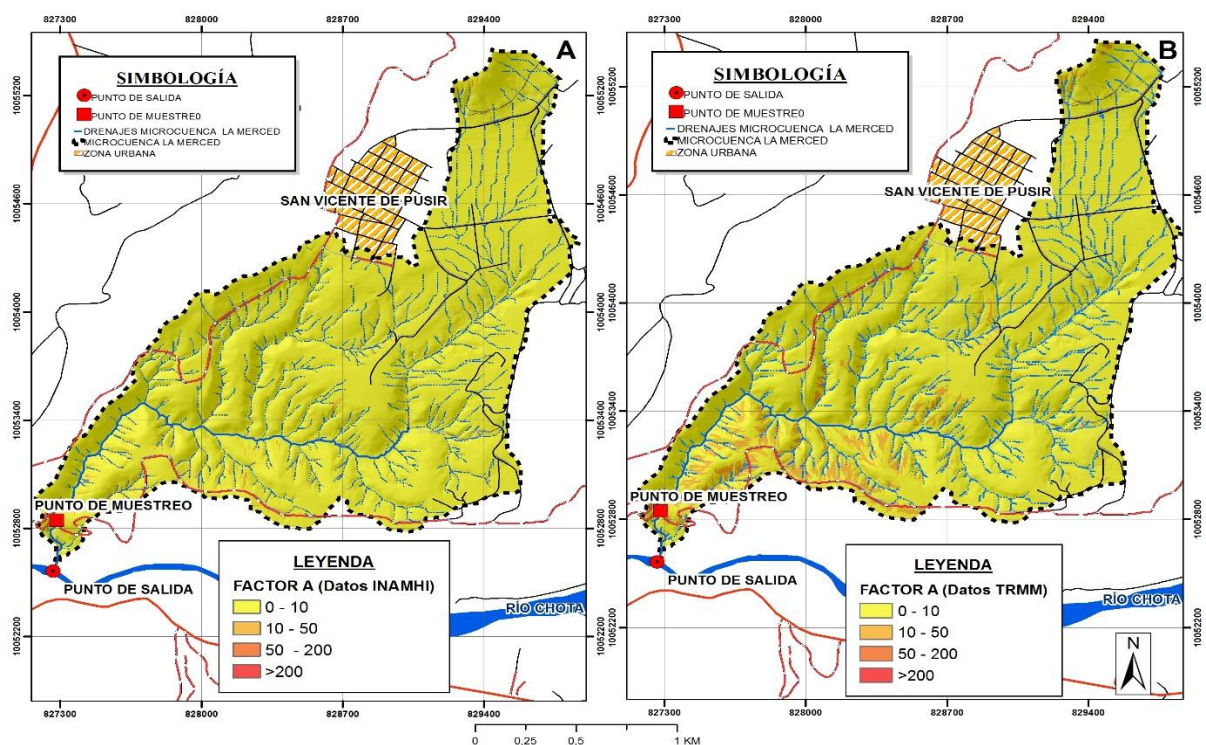


Figura 18. Factor Cobertura Vegetal (C) a nivel de drenajes de la microcuenca La Merced

4.2.5. Pérdida de suelo (A)

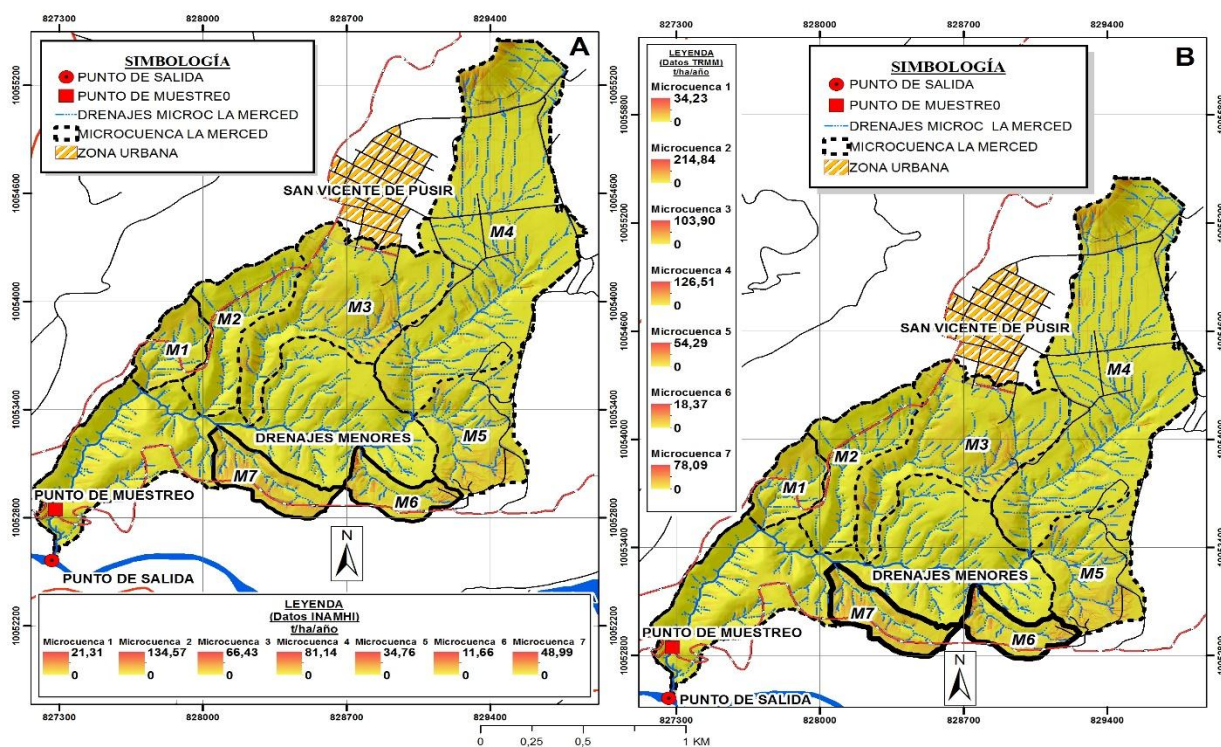
Los resultados obtenidos de la tasa de pérdida de suelo por erosión hídrica en la microcuenca aplicando el método RUSLE se presenta en las Figuras 20 A y 20 B ; los dos valores obtenidos se encuentran en el rango de muy fuerte según la FAO (1981) en clasificación de pérdida de suelo. Con los datos de precipitación del INAMHI de la base de datos de 15 años se obtuvo valores entre 0 a 297,40 t/ha/año, con un valor medio de 2,02 t/ha/año (Figura 19 A). Los resultados con datos de precipitación de las imágenes TRMM34 de los meses Mayo 2017- Abril 2018 se obtuvo valores entre 0 a 494,19 t/ha/año, con un valor medio 3,34 t/ha/año (Figura 19 B); se puede observar como la erosión aumenta en la parte baja de la microcuenca y pendientes pronunciadas.



Figuras 19A y 19B. Erosión Hídrica de la microcuenca La Merced

La pérdida de suelo por erosión hídrica en la microcuenca a nivel de drenajes se observa en la Figura 20 A; en la tabla 25 se muestra los valores medios de la ecuación RUSLE a nivel de microcuencas con datos del INAMHI. La microcuenca 7 alcanzó el valor más alto con un valor medio de 4,28 t/ha/año. La microcuenca 6 obtuvo el menor valor de 0,87 t/ ha/año, lo que representa que es menos propensa a la pérdida de erosión hídrica.

Los resultados muestran que la microcuenca con los valores más altos calculados con datos de precipitación TRMM 3B42 fue la microcuenca 7 con 7,20 t/ha/año, teniendo en cuenta que todos los factores de la ecuación como erosividad, erodabilidad, longitud del terreno y cobertura vegetal tuvieron mayor significancia en esta área, siendo más vulnerable ante el proceso de degradación del suelo, en la microcuenca 6 obtuvo el valor más bajo con 1,44 t/ha/año, su área cuenta con un 76,54 % de cobertura vegetal y relieve topográfico plano que influyen en la pérdida de suelo por erosión (Tabla 25).



Figuras 20A y 20B. Erosión Hídrica a nivel de drenajes de la microcuena La Merced

Tabla 25. Valores medios de la pérdida de suelo por erosión hídrica a nivel de drenajes

PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HIDRICA (A)	VALOR MEDIO t/ ha./año (Datos INAMHI)*	VALOR MEDIO t/ ha./año (Datos TRMM 3B42)**
Microcuena 1	0,95	1,58
Microcuena 2	1,97	3,26
Microcuena 3	1,86	3,00
Microcuena 4	1,26	2,03
Microcuena 5	1,14	1,89
Microcuena 6	0,87	1,44
Microcuena 7	4,28	7,20

*Base de datos INAMHI hasta el 2015

** Datos TRMM34B año actual

4.3. WEQ

El cálculo de la tasa de pérdida de suelo por erosión eólica con la ecuación WEQ se estimó aplicando los siguientes factores:

4.3.1. Factor de índice de erodabilidad del suelo (I)

El factor de erodabilidad del suelo (I) fue calculado con la ecuación RUSLE y se utilizaron los mismos resultados generados para la ecuación WEQ.

4.3.2. Factor de rugosidad del surco del suelo (K)

La distribución espacial del factor K en la microcuenca tuvo variaciones entre los valores de 1,0 a 914.286 mm (Figura 21), con un valor medio de 440,59 mm, los resultados muestran una representación de rugosidad del surco muy alto, en la tabla 26 se muestra los valores de rugosidad de surco del suelo que fueron utilizados para obtener el factor K.

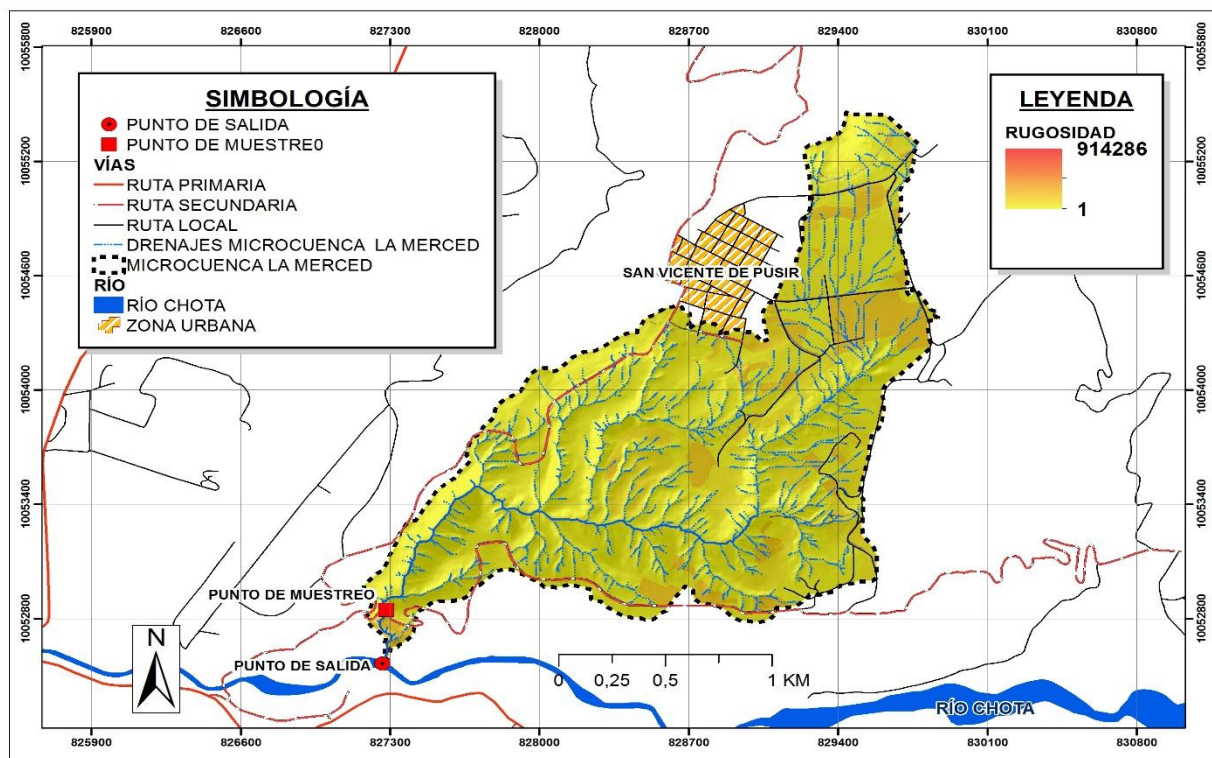


Figura 21. Factor Rugosidad (K) de la microcuenca La Merced

La clase de cultivos perennes fueron tomados en cuenta todos los cultivos más representativos de las áreas agropecuarias aledañas, y los valores de la tabla 26 fueron muestreados en campo para el cálculo del índice de rugosidad.

Tabla 26. Factor K índice de Rugosidad

Clases	Área (ha)	Factor K mm
Área erosionada	1,33	1
Cultivo perenne	33,76	*705,81
Frutales	44,71	1
Infraestructura	9,94	1
Suelo sin cobertura vegetal	108,08	1
Vegetación arbustiva quebrada	24,52	1
Vegetación xerofítica	68,58	1

Fuente: * Datos tomados en campo

La rotación es el sistema de cultivo más común y la transición de cultivos de ciclo corto a barbecho es muy representativa en la microcuenca y cuenta con un área de 14,70%, sin embargo, esta transición muchas veces se deja en periodo extenso de barbecho, es por eso que estas áreas fueron tomadas en cuenta para mejor representación en el análisis espacial del factor K rugosidad del terreno (Tabla 27).

Tabla 27. Factor K índice de Rugosidad (suelo barbecho)

Clasificación de Suelo barbecho	Factor K Mm
Tomate riñón	435,6
Fréjol	968,0
Pimiento	1548,8
Maíz duro	684,5
Alfalfa	450,0
Ají	914,29
Yuca	490,0
Caña de azúcar	640,0

Fuente: Datos medidos en campo, 2018

En la figura 22 se observa los resultados más representativos de rugosidad a nivel de drenajes y en el valor más alto se ubicó en la microcuena 4 con un valor medio de 802,18 mm se consideró que en esta parte de la microcuena norte entre la zona de Tumbatu y San Vicente de Pusir tienen mayor cambio de transacción de barbecho a cultivo de ciclo corto como es el ají, alfalfa, yuca, pimiento, frejol y caña de azúcar. Las Microcuenas 1 y 2 obtuvieron el valor medio de 1 mm siendo el más bajo; en estas microcuenas no se encontraron superficies de barbechos (Tabla 28). Stremjanský et al., (2015) explican que el factor de rugosidad de la cresta del suelo ha sido determinado por la influencia de las crestas y surcos creados por la tecnología de labranza. En la mayoría los cálculos del factor K no se tienen en cuenta, por lo que el valor 1 se usa en toda el área catastral.

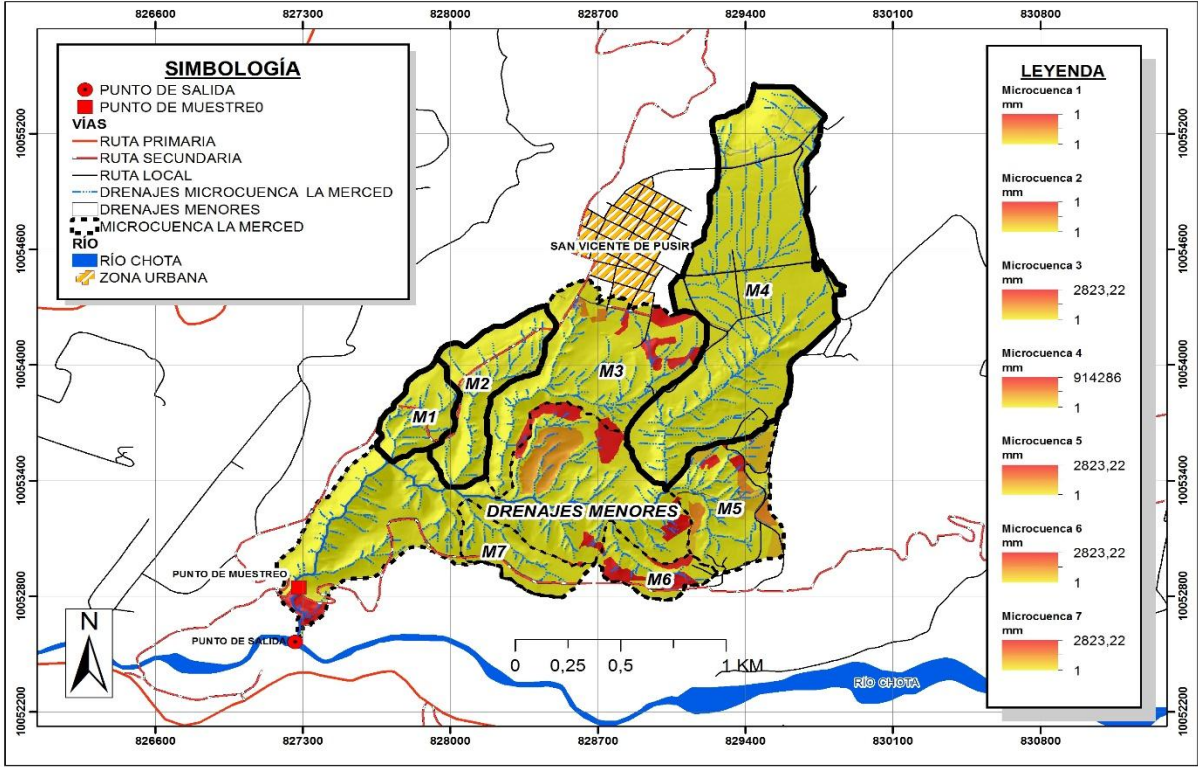


Figura 22. Factor Rugosidad (K) a nivel de drenajes de la microcuena La Merced

Tabla 28. Valores medios del factor K a nivel de drenajes

RUGOSIDAD (K)	VALOR MEDIO (mm)
Microcuena 1	1
Microcuena 2	1
Microcuena 3	291,37
Microcuena 4	802,18
Microcuena 5	303,11
Microcuena 6	756,33
Microcuena 7	334,69

4.3.3. Factor climático (C)

Los resultados de las condiciones climáticas del factor C en la microcuena variaron entre 41,59 a 48,47 (Figura 23) y el valor medio fue de 44,71.

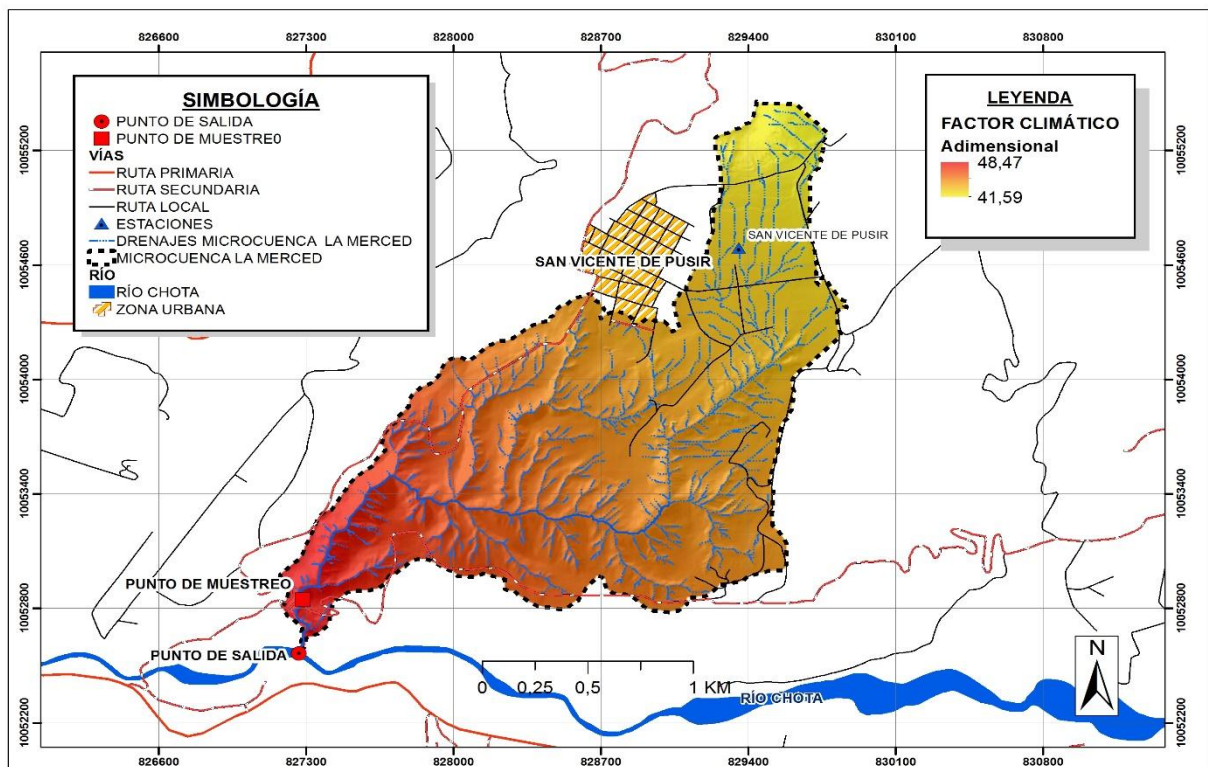


Figura 23. Factor Climático (C) de la microcuena La Merced

En la figura 24 se puede observar el factor climático a nivel de drenajes. Los componentes climáticos con mayor valor medio se ubicaron en la microcuenca 7 con un valor de 0,26 alcanzando más capacidad de infiltración en su área y mayor desprendimiento de las partículas de suelo por la velocidad del viento. La microcuenca 3 obtuvo el menor valor medio de 0,019 y se puede expresar que los factores climáticos influyen en menor importancia dentro de área con menor riesgo a erosión eólica (Tabla 29).

Tabla 29. Valores medios del factor C a nivel de drenajes

FACTOR CLIMÁTICO (C)	VALORES MEDIOS Adimensional
Microcuenca 1	46,38
Microcuenca 2	45,49
Microcuenca 3	44,44
Microcuenca 4	43,04
Microcuenca 5	44,41
Microcuenca 6	45,07
Microcuenca 7	45,94

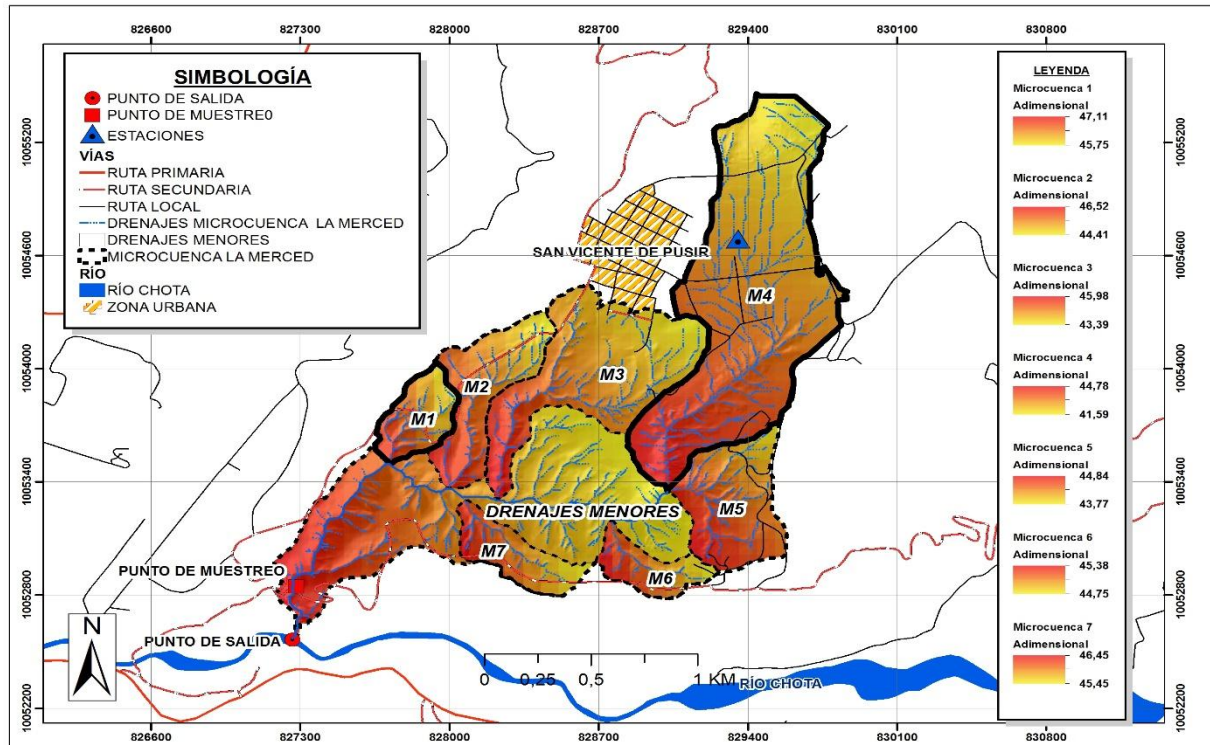


Figura 24. Factor Climático (C) a nivel de drenajes de la microcuenca La Merced

4.3.4. Factor longitud del terreno en la dirección prevaleciente de los vientos (L)

El factor longitud fue considerado como la longitud del campo en la dirección prevaleciente de la erosión eólica (Woodruff y Siddoway, 1965), este factor depende de la geografía del área y del manejo del recurso suelo. El factor L está influenciado por la dirección de los vientos predominantes, en algunas ocasiones los vientos provienen de diferentes direcciones.

En la microcuenca se estableció la dirección más representativa de los vientos con los datos registrados para la estación de San Vicente de Pusir, como resultado se obtuvo que la dirección dominante del viento es de sur-norte y sur-noreste (Tabla 15). A nivel de microcuencas se obtuvo un valor entre 4,23 a 4,75 y con un valor medio de 4,54 (Figura 25).

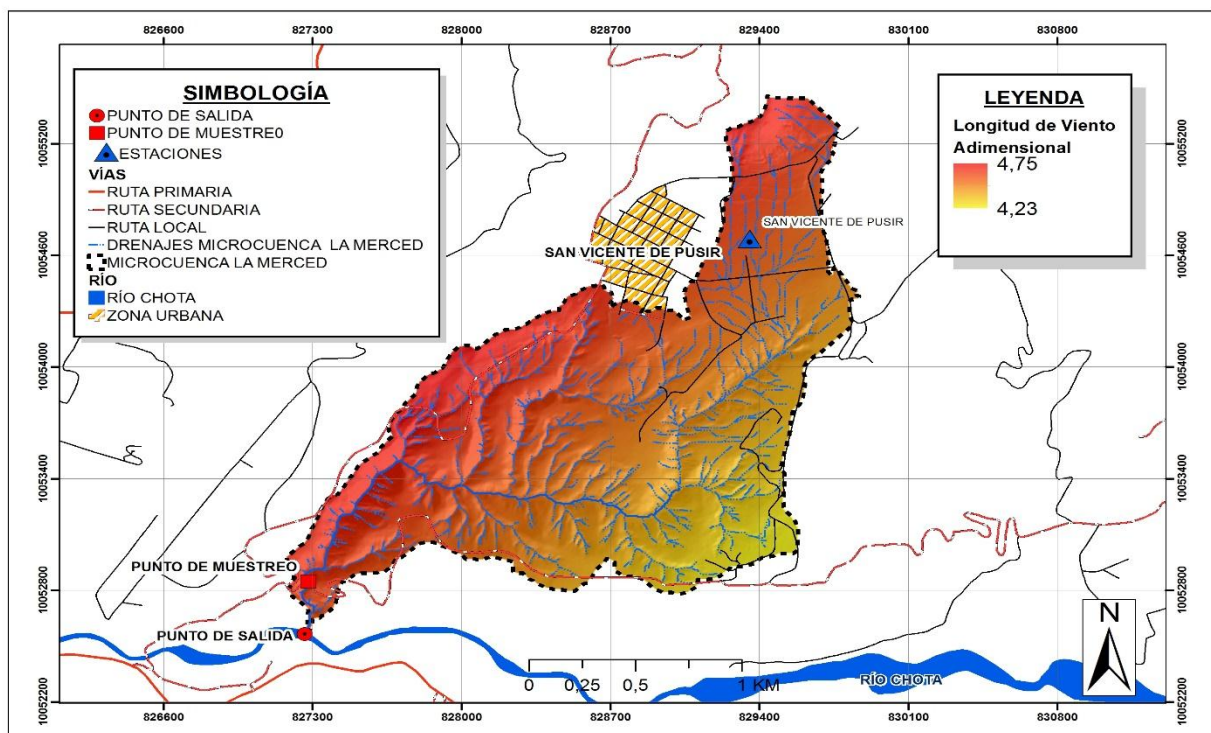


Figura 25. Factor Longitud del Viento (L) de la microcuenca La Merced

El factor L tuvo mayor valor medio de 4,71 en la microcuenca 1 y en la microcuenca 5 obtuvo el menor valor medio de 4,33 (Tabla 30) con mayor dominancia de dirección del viento en las laderas del terreno con representación de noroeste como se puede observar en la figura 26.

Tabla 30. Valores medios del factor L a nivel de drenajes

LONGITUD DEL VIENTO (L)	VALOR MEDIO
Microcuena 1	4,71
Microcuena 2	4,67
Microcuena 3	4,59
Microcuena 4	4,53
Microcuena 5	4,33
Microcuena 6	4,34
Microcuena 7	4,48

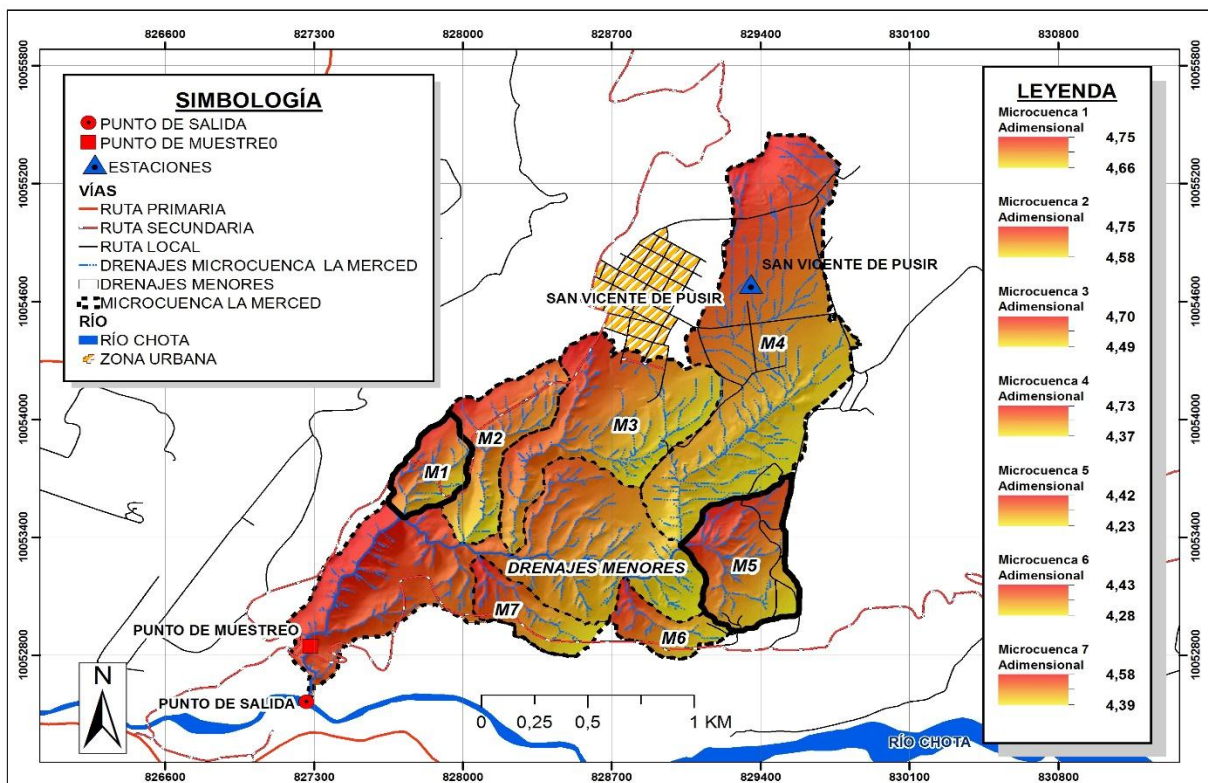


Figura 26. Factor Longitud del Viento (L) a nivel de drenajes de la microcuena La Merced

4.3.5. Factor equivalente de cobertura de vegetación (V)

El factor V obtuvo valores entre 0 a 1679,02 kg/ha (Figura 27) y con un valor medio de 176,63 kg/ha, los datos fueron obtenidos por el FRA (2015) los resultados indican altos valores del factor V, aunque un 31,69 % son suelos sin cobertura vegetal del área de la microcuena.

Fryrear (1990), explica que la erosión eólica puede ser minimizada o prevenida con cobertura de residuos en pie o residuos muertos; así una cobertura del 30% de residuos puede minimizar las pérdidas de suelo en un 80%. La vegetación xerofítica equivale a un 20,11% de área total de la microcuenca.

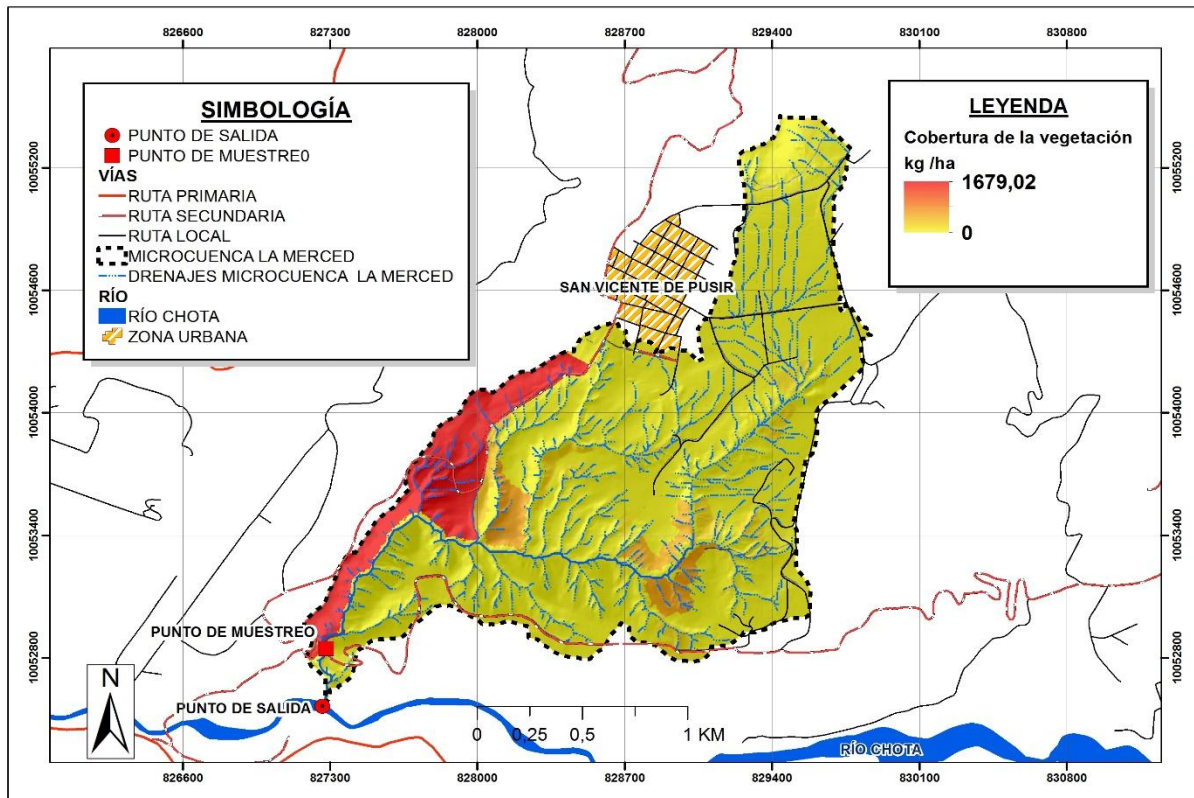


Figura 27. Factor Equivalente de Cobertura de Vegetación (V) de la microcuenca La Merced

La microcuenca 1 gran parte de su área está cubierta con vegetación xerofítica con un 56,65%, es por esta razón que el factor V tiene mayor representación y se puede observar en la figura 28 con un valor medio de 1517,28 kg/ha. La microcuenca 7 obtuvo un valor de la media muy bajo de 0,00 kg/ha (Tabla 31). Este resultado se explica porque en esta área no existe vegetación xerofítica, además el 63,079% de la cobertura vegetal es de suelo sin vegetación, exponiendo representativamente al recurso suelo ante los procesos de erosión eólica, teniendo en cuenta que solo se tomaron valores de biomasa para vegetación xerofítica.

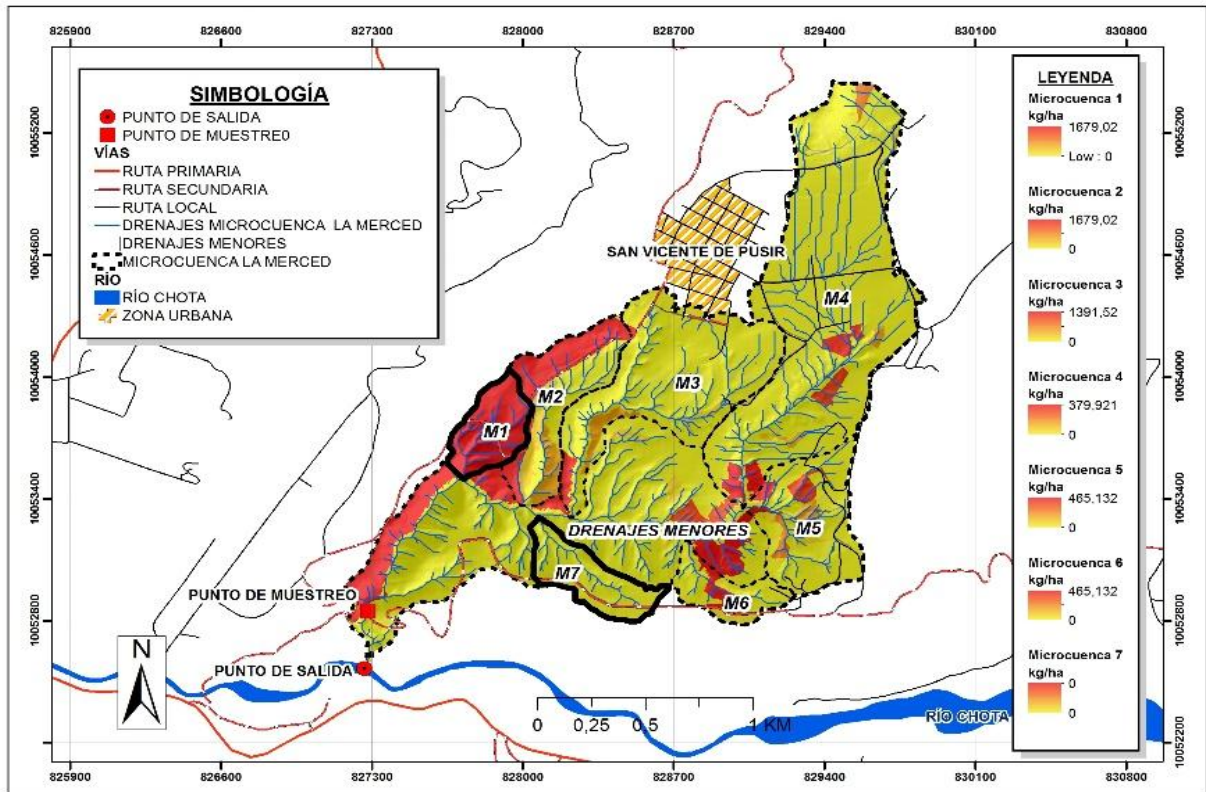


Figura 28. Factor Equivalente de Cobertura de Vegetación (V) a nivel de drenajes de la microcuena La Merced

Tabla 31. Valores medios del factor V a nivel de drenajes

FACTOR COBERTURA VEGETAL (V)	VALOR MEDIO kg /ha
Microcuena 1	1517,28
Microcuena 2	658,85
Microcuena 3	24,97
Microcuena 4	11,68
Microcuena 5	20,56
Microcuena 6	50,96
Microcuena 7	0,00

4.3.6. Factor pérdida anual de suelo (E)

El mapa de erosión eólica de la microcuenca La Merced se obtuvo aplicando la técnica de álgebra de mapas de todos los factores individuales que la ecuación WEQ propone. En la figura 29 se muestra el resultado final del modelo de la tasa de la erosión eólica en la microcuenca que varía entre 0 a 159,92 t/ha/año y con un valor medio de 12,18 t/ha/año.

La velocidad del viento es determinada por barreras de viento, rugosidad y longitud del terreno, la cobertura vegetal limita la erosión eólica actuando como zonas de protección, en la microcuenca existe un 50,31% de cobertura vegetal, sin embargo llanuras planas, elevadas y con pendientes pronunciadas son factores que aumentan significativamente la pérdida de suelo por erosión eólica al noroeste del área se observa una mayor significancia de pérdida de suelo por erosión.

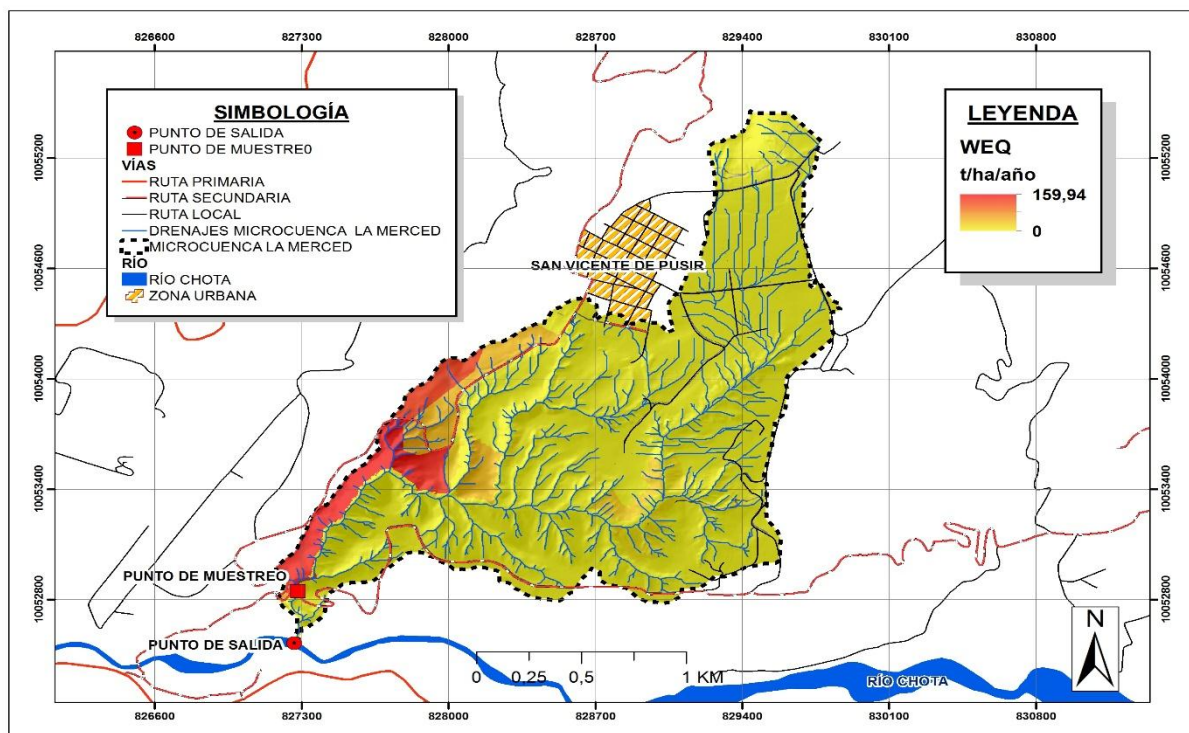


Figura 29. Erosión Eólica de la microcuenca La Merced

En figura 30 se muestran los resultados finales de la tasa de pérdida de suelo por erosión eólica con el modelo WEQ a nivel de drenajes, y el resultado mayor se ubica en la microcuenca 7 con

un valor medio de 0,259 t/ha/año, su área cuenta con un 63,16% de suelo sin cobertura vegetal volviéndola vulnerable ante los factores erosivos. La microcuenca 3 alcanzó el menor valor medio de 0,019 t/ha/año; con un 69,20% entre cultivos, frutales, vegetación y barbecho; la ubicación de la microcuenca previene mayor pérdida de suelo con erosión eólica ante la dirección dominante del viento según los resultados del factor longitud del terreno (L) (Tabla 32).

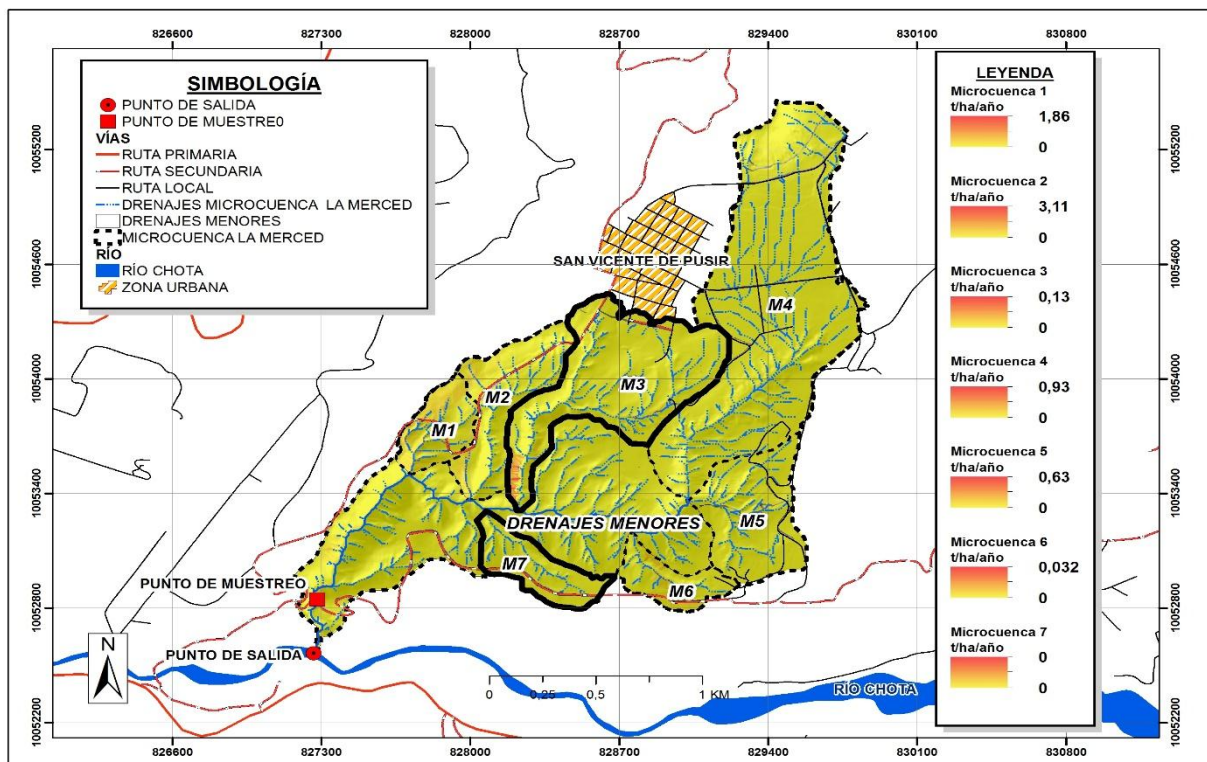


Figura 30. Erosión Eólica a nivel de drenajes de la microcuenca La Merced

Tabla 32. Valores medios de la pérdida de suelo eólica a nivel de drenajes

Pérdida de suelo por erosión eólica E	WEQ t/ha/año
Microcuenca 1	0,028
Microcuenca 2	0,026
Microcuenca 3	0,019
Microcuenca 4	0,021
Microcuenca 5	0,027
Microcuenca 6	0,025
Microcuenca 7	0,259

4.4. Cuantificación de pérdida de suelo por erosión hídrica mediante la técnica de clavos

Los resultados obtenidos se muestran en la figura 31 correspondientes a los años 2017 y 2018 con valores reales mensuales de erosión hídrica, se comparó con los análisis de suelos del laboratorio de AGROCALIDAD, obteniendo como resultado que; en los cuadrantes 1 y 3 el suelo posee una textura franco arenoso y en el cuadrante 2 con textura franco, al igual que se efectuó el análisis de densidades en los tres cuadrantes del área de estudio, alcanzando como resultado 2,34 g/ml (densidad real) y 1,52 g/ml (densidad aparente), en el cuadrante 1 ubicado en la parte alta del área de estudio con una pendiente de 22,77%. En el cuadrante 2 de la parte media del área en cuestión se obtuvo valores de 2,38 g/ml (densidad real) y 1,51 g/ml (densidad aparente) con una pendiente de 64,77%. En el cuadrante 3 con una pendiente de 40,12% y densidades de 2,58 g/ml (densidad real) y 1,73 g/ml (densidad aparente). Finalmente, cada mes se procedió a tomar datos en campo para proceder a cuantificarlos de acuerdo con los datos obtenidos de los laboratorios de AGROCALIDAD, después de 1 año y 2 meses de estudio se obtuvieron valores bajos en el mes de Mayo del 2017 con 215,33 kg/ha (Erosión Aparente).

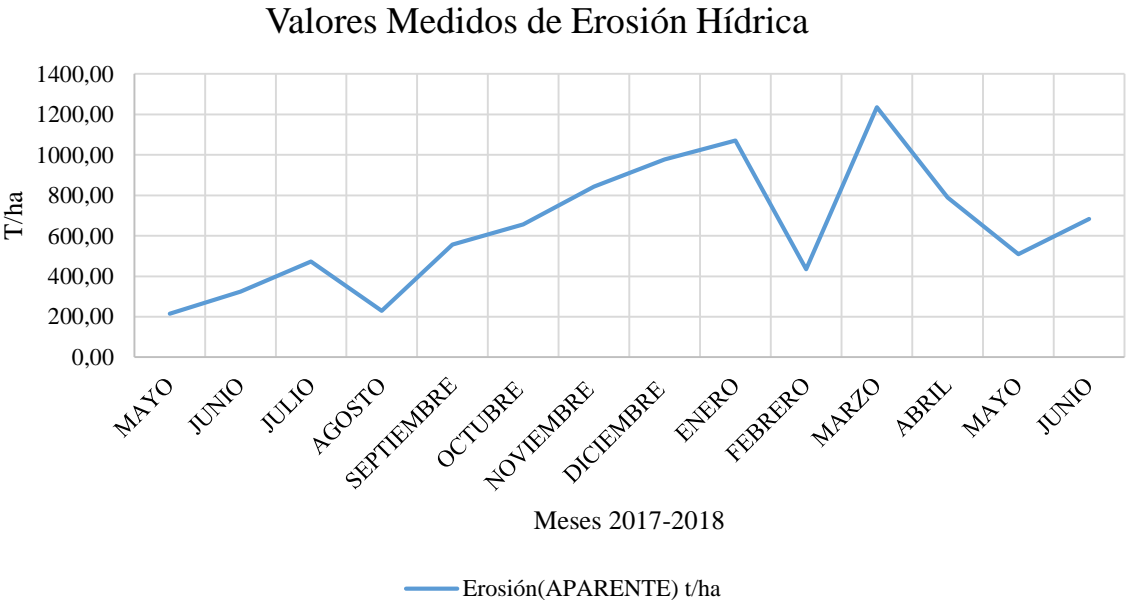


Figura 31 . Pérdida de suelo por erosión hídrica

El INAMHI menciona que los meses de mayo, junio, julio y agosto se consideran épocas secas, por lo que en los 15 años de datos obtenidos en los meses en cuestión presentaron precipitaciones leves. Cabe recalcar que hubo influencia del factor antrópico producido por labores de limpieza del terreno, lo que causó que la escorrentía del agua de riego sea un factor más que insidioso en la erosión hídrica, al igual que para el proceso de sedimentación. En la (Tabla 34) se detallan los valores mensuales de erosión aparente y real en la microcuenca La Merced.

Por otra parte, como se puede observar en la tabla 33 los valores altos de erosión hídrica se registraron en el mes de Marzo del año 2018 con 1 235,79 kg/ha (erosión aparente) y 1 914,41 kg/ha (erosión real), por lo tanto la relación de la precipitación y los procesos de sedimentación componen la dinámica para valores tan elevados, al igual que los valores obtenidos en los meses de noviembre y diciembre del año 2017 y enero, febrero y marzo de 2018 considerados como época lluviosa, de tal forma que las partículas de suelo fueron arrastradas por el flujo de agua dando como resultado el desgaste del suelo y por consiguiente valores dominantes de erosión hídrica.

Sin embargo, se debe tomar en cuenta el factor antrópico ya que existió la limpieza de las áreas aledañas a la zona de investigación al igual que la siembra de especies xerofíticas propias del lugar, que generó mayores resultados en el proceso de suelo sedimentado y erosión debido a la remoción del suelo.

Tabla 33. Valores de erosión hídrica del periodo Mayo2017 - Junio2018 Mediante la Técnica de clavos de Erosión.

	MESES	Erosión (APARENTE) t/ha/año
1	MAYO	215,33
2	JUNIO	323,74
3	JULIO	473,49
4	AGOSTO	230,01
5	SEPTIEMBRE	556,95
6	OCTUBRE	655,83
7	NOVIEMBRE	842,53
8	DICIEMBRE	977,78
9	ENERO	1070,03
10	FEBRERO	435,06
11	MARZO	1235,79
12	ABRIL	789,11
13	MAYO	510,01
14	JUNIO	682,62
	PROMEDIO	642,73

De igual manera con los datos obtenidos en campo durante los meses establecidos para el periodo de 1 año y 2 meses, que se mostraron en la tabla 34, se realizó el cálculo del promedio para obtener un valor total de erosión hídrica de los meses en estudio, alcanzando resultados de 642,73 kg/ha (erosión aparente) en este sentido la presente investigación acorde a la (figura 20 B) se obtuvieron datos totales del modelo RUSLE con valores de 494,19 t/ha/año, por lo que dentro de los valores de pérdida de suelo se señala que la medición de clavos de erosión representa niveles de erosión considerables mayores a 200 t/ha/año.

4.4.1. Resultados totales del área de estudio de La Merced

Mediante la técnica de clavos de erosión se obtuvieron valores que demuestran que en el periodo de 14 meses se registró una elevada pérdida de suelo, sin embargo, dichos valores podrían ser mitigados implementando prácticas de conservación del recurso suelo tabla 34.

Tabla 34. Valores de pérdidas totales de la microcuenca La Merced

Pérdida de suelo	Pérdida Neta t/ha/año	Gasto solido t/ha/año (Sólidos Totales Secos y Sólidos Totales Disueltos)
Microcuenca La Merced	494,19	582,37

El resultado de pérdida neta de suelo fue de 494,19 t/ha/año señalando el aumento significativo de pérdida de suelo, la mayor pérdida de suelo fue afectada por los altos valores de pendientes del terreno en rangos de 22% a 70% con una erosión hídrica muy fuerte, además se obtuvieron valores de 582,37 t/ha/año que corresponden al gasto total de sólidos en el cauce de la Quebrada La Merced.

Comparación de erosión hídrica de cuadrantes de clavos de erosión

En la tabla 35 se presenta los valores totales de erosión, correspondientes al modelo RUSLE, teniendo en cuenta que se realizó una delimitación de cada cuadrante respecto a su drenaje.

El cuadrante 1 presenta valores más bajos de erosión de la microcuenca, con un área de 0,54 ha y una pérdida de suelo de 1,03 t/ha/año, debido a que existen factores favorables como la cobertura vegetal y la pendiente baja, siendo factores que resguardan a la capa superficial, por ultimo con valores más altos en el cuadrante3, con un área de 3,28 ha y una pérdida de suelo 4,15 t/ha/año, debido a la persistencia de arrastre de sedimentos por acción del agua desde la parte alta de la microcuenca.

Tabla 35. Resultados de pérdida de suelo en los tres cuadrantes

Cuadrantes	ÁREA (ha)	Pérdida de suelo RUSLE t/ha/año
Cuadrante 1	0,54	1,03
Cuadrante 2	1,44	3,27
Cuadrante 3	3,28	4,15

4.5. Validación del modelo cartográfico de la ecuación RUSLE empleando los datos de medición de Clavos de Erosión.

En la tabla 36 se muestra los valores totales anuales del periodo 2017 - 2018 simulados (RUSLE) y observados (Clavos de Erosión) del cuadrante 1; posteriormente se realizó la ecuación de N Nash obtenido un resultado de 0,99 ubicándose un rango Excelente.

Cave recalcar que los datos simulados (RUSLE) del cuadrante en estudio toma valores altos de los factores R (factor erosividad), K (factor erodabilidad) y C (factor cobertura vegetal), indicando que la metodología simulada es apta para el presente estudio.

En la figura 32 muestra una correlación lineal polinómica de R^2 de 0,0075 y una constante de 4,3066 siendo valores muy bajos debido a que la relación entre los datos simulados y observados como lo muestra la (tabla 36) son significativamente variantes ya que los datos simulados toma como valencia de 1 a datos que en campo corresponden a 0.

Tabla 36. Validación de RUSLE y Clavos de Erosión (Cuadrante 1)

N° CLAVO	RUSLE (t/ha/año)	CLAVOS DE EROSIÓN (t/ha/año)	N° CLAVO	RUSLE (t/ha/año)	CLAVOS DE EROSIÓN (t/ha/año)
1	0,00	1,72	19	0,47	0,29
2	0,00	3,03	20	0,00	31,05
3	0,73	3,10	21	0,00	0,24
4	0,82	0,53	22	0,89	0,00
5	0,82	0,00	23	0,96	24,39
6	0,89	0,37	24	0,96	0,50
7	0,47	1,01	25	0,47	0,00
8	0,00	0,59	26	0,47	0,00
9	0,82	26,19	27	0,00	0,00
10	0,82	0,00	28	0,96	3,55
11	0,89	0,37	29	0,96	0,25
12	0,96	5,40	30	1,02	0,00
13	0,47	0,01	31	0,47	0,00
14	0,00	0,57	32	0,47	0,79
15	0,82	1,75	33	0,00	7,58
16	0,82	0,00	34	0,96	0,00
17	0,89	0,17	35	0,96	0,00
18	0,96	0,59	36	1,02	2,59

Valores totales del Cuadrante 1

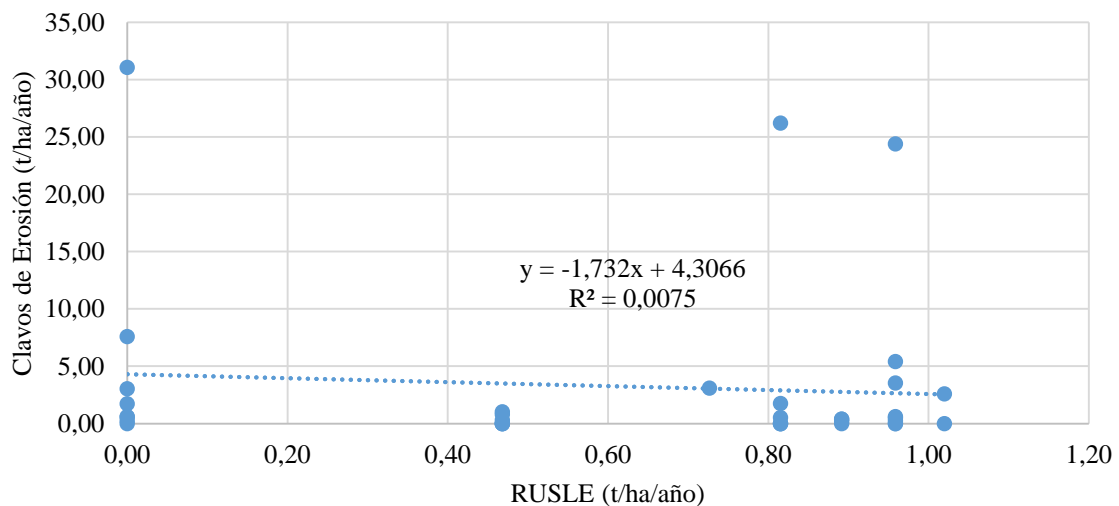


Figura 32. Valores validados entre Clavos de Erosión y RUSLE

En la tabla 37 se muestra los valores totales anuales del periodo 2017 - 2018 simulados (RUSLE) y observados (Clavos de Erosión) del cuadrante 2; posteriormente se realizó la ecuación de N Nash obtenido un resultado de -1,11 ubicándose un rango *Insuficiente* por lo que Nash (1970) menciona que los valores $-\alpha$ a -1 en estudios la metodología idónea es la de campo a diferencia que cuando se obtiene valores positivos de 0 a 1 la metodología recomendada es la simulada; por ende en el cuadrante dos la metodología de clavos de erosión es mejor para calcular pérdidas de erosión; de igual forma se menciona que en el cuadrante en cuestión presenta erosión por cárcavas con una exposición más alta a los factores naturales y a una pendiente pronunciada.

Tabla 37. Validación de RUSLE y Clavos de Erosión (Cuadrante 2)

N° CLAVO	RUSLE (t/ha/año)	CLAVOS DE EROSIÓN (t/ha/año)	N° CLAVO	RUSLE (t/ha/año)	CLAVOS DE EROSIÓN (t/ha/año)
1	7,58	0,11	13	10,76	2,53
2	7,58	12,24	14	8,16	6,86
3	6,94	22,37	15	7,58	1,53
4	6,18	2,87	16	6,94	2,92
5	5,26	0,16	17	6,18	0,52
6	11,11	5,11	18	11,77	0,00
7	10,40	7,87	19	8,68	0,00
8	7,58	0,77	20	8,16	0,00
9	7,58	11,38	21	7,58	1,34
10	6,94	0,00	22	7,58	2,71
11	6,18	0,16	23	6,94	0,23
12	11,45	0,00	24	11,77	0,00

En la figura 33 presenta una correlación lineal polinómica de R^2 0,0071 y una constante de 5,3412 indicando valores bajos lo cual indica que la mejor metodología corresponde a la de campo (Clavos de Erosión), de tal manera el cuadrante 2 al presentar factores naturales potencialmente afectantes como el escurriendo, aire y pendientes es el más evidente del desgaste de la capa superficial u horizonte A.

Valores Totales del Cuadrante 2

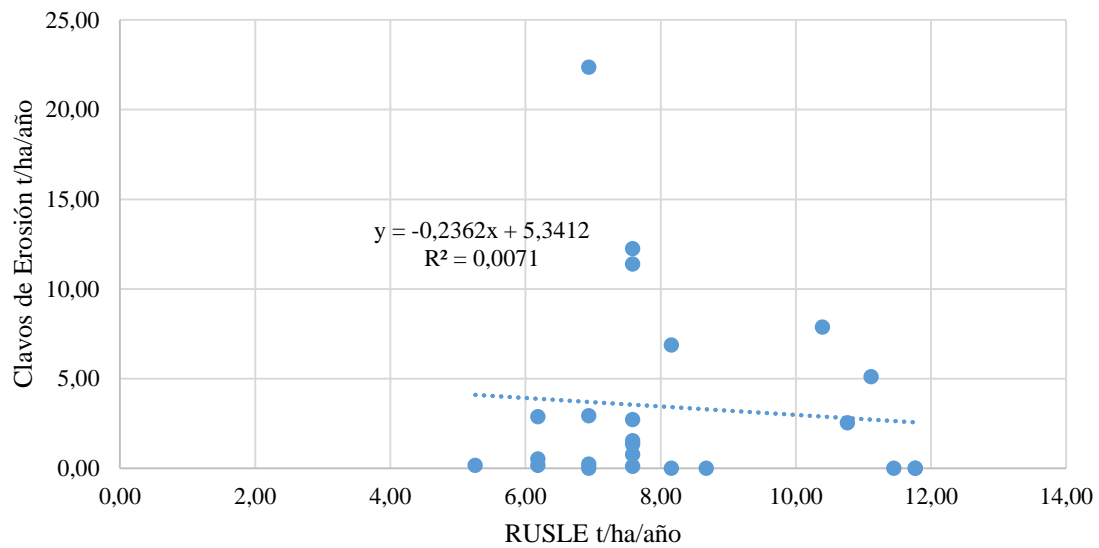


Figura 33. Valores validados entre Clavos de Erosión y RUSLE

En la tabla 38 muestra valores totales anuales del periodo 2017 - 2018 simulados (RUSLE) y observados (Clavos de Erosión) del cuadrante 3; para posteriormente realizar la ecuación de Nash obtenido resultados de 0,22 ubicándose un rango de *Satisfactorio*.

Por esta razón el cuadrante 3 al obtener datos simulados (RUSLE) toma rangos altos de los factores K (Factor erodabilidad), S (Factor pendiente del terreno) y C (Factor cobertura vegetal), ya que esta área presenta un tipo de suelo arenoso por lo que es más susceptible al descrebrajamiento y arrastre de partículas de suelo hacia la parte baja de la microcuenca.

Tabla 38. Validación de RUSLE y Clavos de Erosión (Cuadrante 3)

CLAVO	RUSLE (t/ha/año)	CLAVOS DE EROSIÓN (t/ha/año)	N° CLAVO	RUSLE (t/ha/año)	CLAVOS DE EROSIÓN (t/ha/año)
1	0,00	0,32	19	9,26	11,01
2	0,00	0,11	20	8,43	0,99
3	0,00	0,00	21	0,00	0,00
4	8,96	0,44	22	0,00	0,00
5	8,96	8,95	23	3,98	0,00
6	0,00	1,60	24	5,26	5,64
7	2,98	0,00	25	3,26	1,21
8	0,00	0,00	26	7,43	8,36
9	0,00	0,03	27	0,00	0,00
10	0,00	0,00	28	0,00	0,00
11	0,00	0,25	29	5,26	3,87
12	2,98	0,00	30	3,18	0,63
13	0,00	0,00	31	5,66	0,00
14	3,98	2,61	32	0,00	0,46
15	7,20	0,00	33	2,98	2,02
16	8,20	0,00	34	2,98	1,97
17	0,00	0,30	35	2,26	2,05
18	2,98	0,41	36	2,18	0,00

En la figura 34 presenta una correlación lineal polinómica de R^2 0,3419 y una constante de 0,0307 valores aceptables para el cuadrante de lo cual indica que la mejor metodología (Clavos de Erosión) fue la correcta y adecuada para este estudio a su vez se recalca que el cuadrante tres presenta una pendiente de 40,12% un factor propicio para el arrastre de sedimentos y erosión.

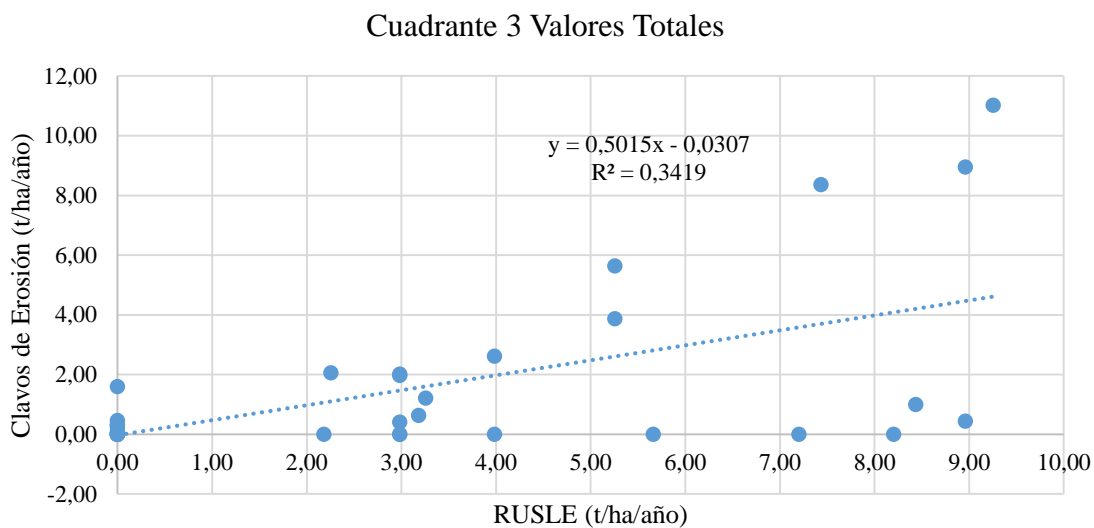


Figura 34. Valores validados entre Clavos de Erosión y RUSLE

4.6. Correlación de técnica de Clavos de Erosión y Sedimentos

En la figura 35 muestra como resultado una línea de tendencia polinómica positiva, por lo que demuestra que si aumenta la erosión por la técnica de clavos de erosión aumentará el proceso de sólidos secos totales considerándose proporcionales al desgaste y arrastre de sedimentos hacia el cauce principal. En el valor de la ecuación polinómica se obtuvo una constante de 410,79, obteniendo un coeficiente de correlación de 0,7479; por lo que en la tabla 39 se muestra los meses con más erosión en el período de 14 meses.

Tabla 39. Valores de gastos totales de sólidos y clavos de erosión (Erosión)

Meses	Gastos totales de sólidos secos t/ha/año	Clavos de Erosión t/ha/año
Enero	293,88	1070,03
Febrero	47,18	435,06
Abril	506,16	789,11
Mayo	998,80	510,01
Noviembre	756,79	842,53
Diciembre	532,93	977,78

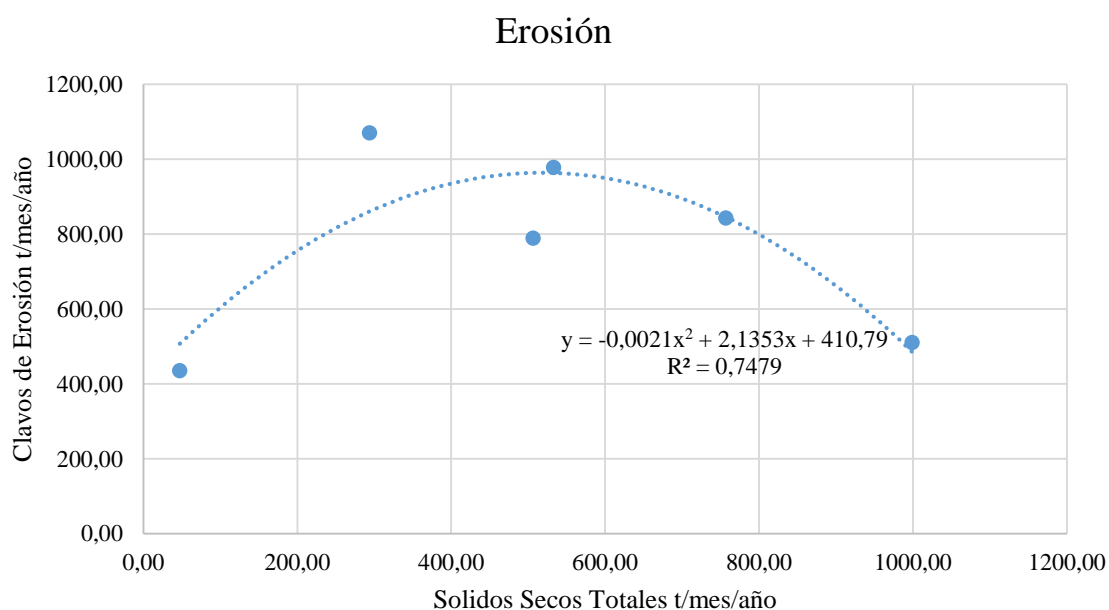


Figura 35. Curva de correlación para la Erosión total calculada

En cuanto al proceso de sedimentación como lo muestra la figura 36 se obtuvo una línea de tendencia polinómica, en la cual se evidencia una constante de 3518,4 lo que demuestra que si aumenta la erosión el proceso de sedimentación aumentará gradualmente obteniendo un coeficiente de correlación de 0,6171 y el proceso de sedimentación en los meses más predominantes como lo muestra la tabla 40.

Tabla 40. Gastos totales de sólidos y clavos de erosión (Sedimentación)

Meses	Gastos totales de sólidos secos t/ha/año	Clavos de Erosión t/ha/año
Marzo	186,09	1235,79
Junio	479,08	682,62
Julio	238,88	473,49
Agosto	317,52	230,01
Septiembre	234,42	556,95
Octubre	339,35	655,83

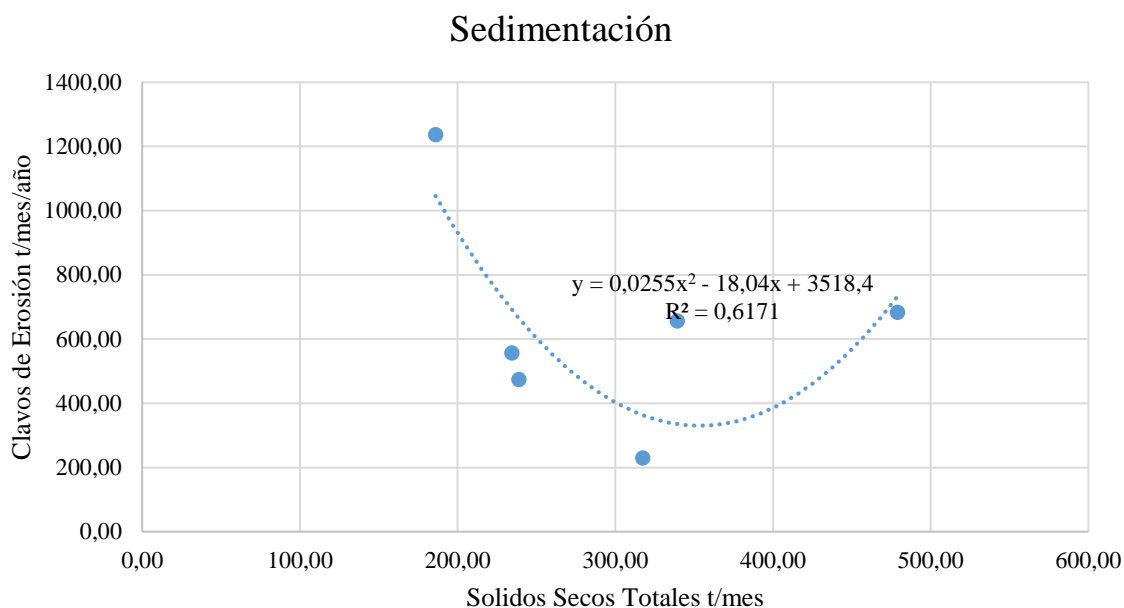


Figura 36. Curva de correlación para la sedimentación calculada

4.7. Discusión

4.7.1. Determinación la tasa de pérdida de suelo por erosión hídrica y eólica mediante las ecuaciones RUSLE y WEQ.

La microcuenca presenta una aparente susceptibilidad ante los factores de erosión hídrica y eólica registrando pérdidas significativas de suelo, esto se comprobó mediante el análisis espacial de cada factor de los modelos RUSLE y WEQ, en los cuales se utilizaron datos de precipitación del INAMHI de un periodo de 15 años y se obtuvo el valor de 297,39 t/ha/año; y 451,31 t/ha/año con los datos de precipitación de las imágenes satelitales TRMM 3B43 (mayo 2017- abril 2018) y se calculó un valor de 654,132 t/ha/año de pérdida de suelo por erosión hídrica entre los dos resultados (Tabla 41), por esta razón se puede argumentar que la erosión aumenta cada año en 85,39 t/ha/año; y estos valores se ubican dentro del rango de clasificación *Muy Fuerte* de pérdida de suelo propuesta por la FAO (1981).

Tabla 41. Total de pérdida de suelo de la microcuenca La Merced

	RUSLE	WEQ	Pérdida total
	t/ha/año	t/ha/año	de suelo
Microcuenca La Merced (Datos INAMHI)	297,39	159,94	457,33
Microcuenca La Merced (Datos TRMM 34B)	494,192	159,94	654,132

La microcuenca cuenta con el 75% de suelos de categoría taxonómica de Vitrandic Haplustols característicos por ser secos en todas partes de los horizontes del suelo y con una infiltración media a alta según USDA (2006), haciéndolos más propensos a tener escorrentía superficial como explica López (2017). En un estudio realizado por Jaramillo (2015) de la subcuenca del río Portoviejo un 0,21% de áreas con erosión fuerte lo que explica que se debe a sus fuertes pendientes y superficies que se encuentran con actividades agropecuarias sin un manejo adecuado del recurso suelo.

Peralta (2015) menciona que dentro el estudio del río Cubí. la vegetación contrarrestó los efectos erosivos de la lluvia a pesar de que existían pendientes pronunciadas en la microcuenca, siendo el factor de cobertura vegetal (bosques) los que evitan pérdida de partículas de suelo. Por esta razón, en la microcuenca La Merced la cobertura vegetal xerofítica tiene importancia en la protección al suelo, ya que posee el 27,30% de vegetación xerofítica y vegetación arbustiva de quebrada y Nyamtseren (2016) explica que las plantas características de zonas áridas se encuentran escasamente distribuidas y tienen un área foliar mínima, la cual no evade por completo los efectos erosivos de las lluvias, escorrentías y factor antrópico, volviendo a estas áreas más propensas a pérdida de suelos.

En el modelo WEQ de erosión eólica Eltaif y Gharaibeh (2011) y Nyamtseren, (2016) exponen que el clima es el principal factor erosivo. Sobre la estructura del suelo, se menciona que los agregados de este recurso pueden ser fácilmente transportados por el viento, cuando se disminuye la humedad en la superficie, especialmente en suelos de transición de cultivos a barbechos; la microcuenca cuenta con 14,7% de suelos desprotegidos de cobertura vegetal

dejando expuestos a los procesos erosivos eólicos e hídricos. Las pendientes fuertemente pronunciadas tienen cierta influencia en la erosión eólica, actuando como corredores de vientos la principal dirección de viento fue NW (Noroeste); se observó que las áreas con una llanura inclinada y relieve llano rodeadas de montañas se distinguen como zonas más afectadas por la erosión eólica.

A nivel de drenajes y con la suma total de pérdida de suelo entre los modelos RUSLE Y WEQ como resultado se obtuvo que la microcuenca 6 tiene el valor más bajo con 0,87 t/ha/año y 1,44 t/ha/año, este valor representa que los factores erosivos de los dos modelos son menos representativos en el área; caso contrario en la microcuenca 7 donde se obtuvo el valor de pérdida más alto de 4,54 t/ha/año y 7,46 t/ha/año el área de estudio posee un 63,16% de suelo sin cobertura vegetal el cual actúa como efecto negativo ante los procesos erosivos al igual que los relieves llanos (Tabla 42).

Tabla 42. Pérdida total de suelo modelos RUSLE y WEQ

Microcuencas	RUSLE (Datos INMAHI) t/ha/año	WEQ t/ha/año	*Pérdida total de suelo	RUSLE (Datos TRMM 34B) t/ha/año	WEQ t/ha/año	**Pérdida total de suelo
Microcuenca 1	0,95	0,028	0,98	1,58	0,028	1,608
Microcuenca 2	1,97	0,027	2,00	3,26	0,027	3,287
Microcuenca 3	1,86	0,019	1,88	3,00	0,019	3,019
Microcuenca 4	1,26	0,021	1,28	2,03	0,021	2,051
Microcuenca 5	1,14	0,027	1,17	1,89	0,027	1,917
Microcuenca 6	0,87	0,004	0,87	1,44	0,004	1,444
Microcuenca 7	4,28	0,260	4,54	7,20	0,260	7,46

*Pérdida total de suelo (Datos INMAHI) t/ha/año

**Pérdida total de suelo (Datos TRMM 34B) t/ha/año

4.7.2. Pérdida de suelo por erosión hídrica mediante la técnica de clavos.

La técnica de clavos de erosión instalada en la microcuenca fue de gran importancia para el estudio en cuestión, debido a que se calculó el volumen de suelo erosionado en los tres puntos establecidos para la investigación. Por su parte Moreno (2007) menciona que al estimar la erosión laminar se puede evidenciar y captar valores acertados con la técnica de clavos de erosión; tal es el caso que al cabo de 1 año y 2 meses del periodo 2017 y 2018 se estableció tres cuadrantes en áreas idóneas para el estudio, resultando valores totales en campo en el periodo de 14 meses con datos de 642,73 t/ha de erosión aparente y 940,25 t/ha de erosión real.

Cabe señalar que el suelo desnudo y las pendientes entre 20% a 80% son factores para el desgaste del horizonte A como menciona Pizarro y Cuitiño (2002), que a mayor pendiente mayores cambios de relieves y mayor grado de sedimentación (disminución de pendientes); debido a la retención de partículas del suelo transportadas por el escurrimiento generado por pérdidas mayores de erosión; sin duda según Pizarro, & al (2008), el método de clavos de erosión es un método propicio para cuantificar la erosión producida por acción hídrica al igual que la acción por sedimentación producida en el mismo lugar, permitiendo realizar estimaciones de pérdida a largo y corto plazo.

Constituyendo los principales factores de erosión o desgaste del suelo es el factor antrópico y natural; como lo menciona el estudio realizado en el predio Picazo por Pizarro y Cuitiño (2002), se obtuvo valores de 440,7 t/ha siendo transformado los valores iniciales de kg a hectáreas, cabe señalar que este estudio se realizó en un lapso de 7 meses. En este estudio se consideró la pérdida de suelo de la superficie y entradas de suelo que se produce por el arrastre de sedimentos.

La FAO indica niveles de erosión tanto hídrica como eólica, por lo que señala que los niveles de erosión son clasificados según el grado de pérdida de suelo, con valores que sobrepasen o sean mayores que 200 t/ha/año, se encuentran en un nivel de erosión muy fuerte, sin duda los valores obtenidos en el estudio realizado en el periodo 2017 - 2018 indica que la microcuenca La Merced se encuentra en un rango de 606,39 t/ha/año ubicándose en la escala de erosión hídrica Muy Fuerte.

4.7.3. Validación de la ecuación RUSLE empleando los datos de medición de clavos de erosión y datos de análisis de sólidos totales disueltos y sólidos secos totales.

La técnica de clavos en la presente investigación y metodología experimental, es de gran influencia ya que se considera una técnica idónea para la determinación de erosión neta y suelo movilizado; por lo que menciona Pizarro et al., (2008) en su estudio ejecutado en suelos desnudos de la pre-cordillera andina y valle central de la región de Chile; con esta referencia señala que el estudio elaborado obtuvo una erosión neta de 31,2 t/ha y sedimentación de 13,5 t/ha, sin duda en el ensayo realizado en la Microcuenca La Merced en los tres puntos establecidos por cuadrantes se determinó la dinámica del suelo en su respuesta a la acción de la precipitación y el escurrimiento superficial.

De igual manera, para proceder a realizar la validación de los datos obtenidos en campo se procedió a la metodología de Zapata (2015), menciona que para una evaluación precisa de variables es necesario utilizar criterios entre los cuales se incluye el coeficiente de correlación de Nash (1951); por lo que al comparar con las evidencias obtenidas en campo de la presente investigación se determinó que los valores se encuentran en porcentajes excelentes y muy buenos; según la categorización de Nash.

El empleo de una metodología para obtención de sólidos totales disueltos y sólidos secos totales se lo asocia con el estudio realizado por Vega y Febles (2005), menciona que la tasa de erosión se asume a la pérdida de suelo directamente proporcional a la cantidad de moléculas de suelo perdido al arrastre y transporte de sedimentos hacia cuerpos de agua aledaños constituyendo un factor primordial el recurso agua; igualmente en el estudio realizado en la microcuenca La Merced se obtuvo un gasto total de sólidos secos y sólidos suspendidos totales de 582,37 t/ha/año por lo que cabe recalcar que los factores tanto antrópicos como naturales son fundamentales para el proceso de sedimentación y transporte.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En la determinación de erosión hídrica, mediante el programa ArcMap 10.4 y el modelo RUSLE utilizado en el presente estudio, se determinó valores de 494,19 t/ha/año correspondiente a valores categorizados según la FAO para un nivel de erosión muy fuerte; para el cálculo de erosión eólica mediante el modelo WEQ se obtuvo valores de 159,94 t/ha/año.

En la microcuenca La Merced, la erosión eólica es un grave problema por sus características de zonas seca y árida; siendo más alta la afectación en los periodos de transición de cultivo a barbecho.

El cálculo de erosión con los modelos RUSLE Y WEQ mediante la utilización de cartografía permitió obtener valores significativos de erosión hídrica y eólica, con un total de 654,13 t/ha/año. Este valor se relaciona con los datos obtenidos en campo utilizando la técnica de clavos de erosión, análisis de sólidos totales y disueltos cuyo dato fue de 642,73 t/ha/año.

La erosión total estimada para la microcuenca La Merced, mediante la técnica de clavos de erosión, fue de 606,39 t/ha, este valor indica que el área en estudio se encuentra bajo un proceso acelerado de erosión hídrica.

La medición de erosión hídrica, tanto por la técnica de clavos de erosión como aplicando el modelo RUSLE, generó valores mayores a 200 t/ha/año que corresponden a un rango de pérdida de suelo severa según la FAO (1981).

El método de los clavos de erosión es adecuado para cuantificar la erosión hídrica, producida en un sector determinado conociendo también la cantidad de sedimentos producidos en un área de estudio, por tal razón es una técnica apta para establecer medidas de manejo y conservación de suelos.

La validación de los datos simulados (RUSLE) y los datos observados (Clavos de erosión) de los tres cuadrantes; se obtuvo que el cuadrante uno se encuentra en la categoría de excelente con un $r^2 = 0,99$. El cuadrante 2 presento un $r^2 = -1,11$ representa que el método de clavos de erosión es más recomendable; hay que tener en cuenta que la pendiente de cuadrante 2 es la más alta de 64,77; y el modelo asigna valores enteros a los clavos que presentan sedimentación que en campo se asignó al valor de cero. El cuadrante tres obtuvo un $r^2 = 0,22$ categorizando como valor satisfactorio para el modelo.

5.2. Recomendaciones

La erosión de los suelos es un problema que debe ser cuantificado y controlado con técnicas y métodos eficientes, ya que no sólo es un problema ambiental sino también un problema social que afecta directamente a todos los ecosistemas y agro-ecosistemas cercanos; recomendando que exista una aproximación a las comunidades aledañas para explicar las consecuencias que genera el inadecuado manejo de suelos.

Utilizar la metodología desarrollada en esta investigación para identificar zonas prioritarias de intervención en procesos de conservación de suelos, tanto en la cuenca estudiada, como en otras cuencas en las que se disponga información útil de los parámetros requeridos para la aplicación de los modelos a aplicarse.

Replicar el modelo RUSLE y WEQ en varias localidades del país teniendo en cuenta las limitaciones de los modelos, que han sido detalladas en la presente investigación.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Arnoldus, H., M., J. (1977). Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco. *FAO Soils Bulletin* , (34), 39–51.
- Aimar ,S., Méndez, M., y Buschiazzo, D .(2011). Predicción de la Erosión Eólica Potencial con el Modelo EWEQ en dos Suelos Loesicos: Efectos de las Condiciones Climáticas. Ciencias del Suelo. Argentina.
- AGROCALIDAD (Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de Calidad de Agro). (2014). Guía de Buenas Prácticas Agrícolas. vol. 03. pág. (14-68).
- Bello, M., y Pino, M. (2000). Medición de Presión y Caudal; Ministerio de agricultura – Chile,28.
- Carreño, M. B., y Febles, J. M. (2005). La investigación de suelos erosionados: métodos e índices de diagnóstico. *Minería y Geología*, 21(2),1-18. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/2235/223516049002.pdf>.
- Chepil, W. S.; Siddoway, F. H.; Armbrust, D. V. (1962). Climatic factor for estimating wind erodibility of farm fields. *J Soil Water Conserv.* 17: 162-165 pp.
- Del Val, J. (1987). Factores que controlan los procesos de erosión sedimentación. *Serie Geológica Ambiental-Riesgos Geológicos*. Madrid, 20-33.
- Evaluación Nacional Forestal. (2013). Evaluación Nacional Forestal-Resultados. MAE. Recuperado de: http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/185860/Evaluaci%C3%B3n+Nacional+Forestal_NREFD+1.pdf/955aaa38-34b6-4b4d-9278-8fe915df893f
- Eltaif, N. I., y Gharaibeh, M. A. (2011). Aplicación de un modelo matemático para predecir y reducción de la erosión eólica en tierras áridas no protegidas; *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, (17), 195-206.
- FAO. (1978). Effective rainfall in irrigated agricultura. Capítulo 2: Medición de la lluvia efectiva .Roma.

- FAO. (1981). EL ESTADO MUNDIAL DE LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN ROMA 1982; Análisis mundial: situación en los países menos adelantados Cómo aliviar la pobreza rural. Colección FAO: Agricultura. 14, 204.
- FAO. (1994). Erosión de Suelos en América Latina. Suelos y Agua. Santiago, Chile. 219p. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S03.htm#Tema1>
- FAO. (1993). Erosión de suelos en América Latina. Chile. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S03.htm>
- FAO. (2008). FAO Sala de Prensa. Recuperado el 2 de 06 de 2015, de <http://www.fao.org/newsroom/es/news/2008/1000874/>
- FAO. (2009). EL ESTADO MUNDIAL DE LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. Roma. Recuperado de: <http://www.fao.org/catalog/inter-s.htm>
- FRA (Evaluación de Recursos Forestales) (2015). Paquete de informe sobre bosques 2015. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-az203s.pdf>.
- Fryrear, D. W. (1990). Wind erosion: mechanics, prediction, and control. *Soil Science Society of America Journal*. (13), 187-199.
- Galton Francis. (1889). Natural Inheritance; “Hereditary Genius”. vol (03); pag (266).
- Hudson, N. W. (1976). Efficiency of Water and Fertilizer Use in Semi-Arid Regions; Joint Fao/Iaea Division of Atomic Energy in Food and Agriculture. London-England.
- Hudson, N. W. (1997). Medición sobre el Terreno de la Erosión del Suelo y de la Escorrentía. Boletín de Suelos de la FAO – 68. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/T0848S/T0848S00.htm>
- IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano). (2013). Realización de cartografía topográfica.
- INEN (Instituto Ecuatoriano De Normalización).(2016). Censo Agropecuario. Recuperado de: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>

- Irigoyen, A. I., Suero, E. E y Gardiol, J. M. (1998). La Precipitación Efectiva como Componente del Balance Petrocálculo de Balcarce: Eventos de Precipitación Simulada. Unidad Integrada: Facultad de Ciencias Agrarias. Balcarce- Argentina.
- Jaramillo, J. J. (2015). *Estudio del Riesgo por Erosión Hídrica del Suelo Utilizando el Modelo U.S.L.E, Mediante Herramientas S.I.G, Aplicado en la Subcuenca Río Portoviejo, Provincia de Manabí* (Tesis de Maestría). Universidad Central del Ecuador. Quito-Ecuador
- Jobin, T., Sabu, J., y Thriwikramji, K. (2017). Evaluación de la erosión del suelo en una cuenca de montaña tropicales de las Ghats occidentales, India meridional usando RUSLE y SIG. *Fronteras de Geociencias* .doi: 10.1016/j.gsf.2017.05.011.
- Julien, P. (2010). *Erosion and Sedimentation*. Cambridge, UK, Cambridge University Press.
- Kirby, M. J., y Morgan, R. P. (1984). *Erosión de suelos*. México, Limusa
- López, J. (2017). *Erosión Hídrica en la Unidad Hidrográfica del Río Ambato, en un Escenario de Cambio Climático, Mediante el Modelo USLE/RUSLE* (Tesis pregrado).Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba- Ecuador.
- MAE (Ministerio de Ambiente del Ecuador) .(2013). *Mapa de Vegetación del Ecuador Continental*. Quito- Ecuador
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería) .(1999). *Política ambiental para el desarrollo sustentable de sector agropecuario de Ecuador. Diagnóstico ambiental del sector agropecuario*. Documento técnico N° 13, (1), 203 .Quito. Ecuador.
- Mancilla, G. (2008). *Uso de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo en el Campo Forestal*. Recuperado de <http://es.slideshare.net/solecinha/apuntes-docentes-usle>.
- Meyer, L. D., y Wischmeier , W. H. (1969). *Mathematical Simulation of the Process of Soil Erosion by Water*.*Transactions of the ASAE*, 12(6): 754-758,762.e.
- Morgan, R. 1., (1997). *Erosión y conservación de suelos*. Madrid, España: Editorial Mundi-Prensa.

- Moore, I. D., y Burch, G. J. (1986). Base física del factor de pendiente longitudinal en la ecuación universal de pérdida de suelo. *Soil Science Society of America Journal*, 50(5):1294–1298.
- Moreno, M. M., Gutiérrez, M., Maldonado, A., y Jurado, H. (2002). Evaluación de los Procesos de Desertificación en una cuenca hidrológica del Ne de México. *Ciencia Uanl*. 5 (4) pág. 519-524. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/402/40250411.pdf>
- Moreno-Brotons, J. (2007). Erosión eólica e hídrica en estériles de minería en el campo de Cartagena. *PFC Ciencias Ambientales*. Murcia.
- Mutchler, K. (1988). *Soil erosion research methods*. Arlington Virginia. Estados Unidos.
- Murillo, M. Carvajal, E. & Chacolla, E. (2002). Evaluación de la calidad de suelos en llanuras de piedemonte, mediante indicadores e índices, en el área de producción de quinua (S.O. de Bolivia). *Unidad de Información Estudios y Políticas de Desarrollo Rural Sostenible*. vol. (01); pág.38.
- Narro, E. (1994). *Física de Suelos: con enfoque agrícola*. México D.F, Mexico: Editorial Trillas. 10 - 175 p.
- Nash, J. E y Sutcliffe, J. V (1970). “Previsión del flujo del río a través de modelos conceptuales, parte I - Una discusión de principios”. *Revista de Hidrología*. 10 (3): 282 - 290.
- Nyamtsere, M., Jamsran, T., Doljin, D., y Sodov, K. (2016). Evaluación espacial de la erosión eólica del suelo usando el enfoque WEQ en Mongolia. *Revista de Ciencias Geográficas*, 26 (4), 473-483.
- Ochoa-Cueva, P., Fries, A., Montesino, P., Rodríguez, J. A., y Boll, J. (2013). Spatial Estimation of Soil Erosion Risk by Land-Cover Change in the Andes of Southern Ecuador. *Land Degradation y Development*. doi: 10.1002/ldr.2219
- Ostovari, Y., Ghorbani-Dashtaki, S., Bahrami, H., Naderi, M., y Melo, J.A.(2017). Soil loss prediction by an integrated system using RUSLE, GIS and remote sensing in semi-arid región. *GEODRS. 1-44*.doi: 10.1016/j.geodrs.2017.06.003

- Peralta, U. (2015). Aplicación del Modelo RUSLE para el Cálculo de la Erosión Hídrica en la Microcuenca Río Cubí (Tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito-Ecuador.
- Panebianco, J. E., y Buschiazzo, D. E. (2008). Erosion Predictions with the Wind Erosion Equation (Weq) Using Different Climatic Factors. InterScience. Argentina.
Doi:10.1002/ldr.813
- Pizarro, T. Cutiño, M. (1997). Evaluación cuantitativa de la erosión hídrica superficial en suelos desnudos de la pre-cordillera andina y valle central de la VII Región. VI Jornadas del CONAPHU-CHILW, 6,16.
- Pizarro, T., y Cuitiño, M., H. (2002). Método de Evaluación de la Erosión Hídrica Superficial en Suelo Desnudo en Chile. Cuad.Soc.Esp.Ciencia Forestal, (13) ,165-170.
- Pizarro, T., Cuitiño, M., Flores, V., Sangüesa, P., y Martínez, A. (2008). Metodología De Los Clavos De Erosión Para La Evaluación Cuantitativa De La Erosión Hídrica Superficial. Proyecto FDI - CORFO 00C7FT – 0, (01), 30.
- Ponce, Y. C. (2015). Análisis Multitemporal de la cobertura Vegetal del Valle Interandino el Chota e Identificación de Zonas de Restauración Ecológica (Tesis pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador.
- Pourrunt, P. (1995) *El Agua en el Ecuador*. Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología (INAMHI), (7). Quito, Ecuador: Corporación Editora Nacional y Colegio de Geógrafos del Ecuador.
- Pozo, (s/f). Análisis Multitemporal de la Cobertura Vegetal y Propuesta de Plan de Manejo Participativo de las Comunidades de Pusir y Tumbatú, Provincia del Carchi (Tesis pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador.
- Renard, K. G., Foster, G. A., Weesies, G. A., McCool, D. K y Yoder,D.,C .(1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation. Agricultural Research Service (USDA-ARS) Handbook No. 703. US Department of Agriculture: Washington, DC.
- Romero, D., Ruiz, S., y Belmonte, S. (2011). *Tasas de Erosión Hídrica en la Región de Murcia*. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, 56, 129-153.

- SINAGAP (2012). GENERACIÓN DE GEOINFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL TERRITORIO A NIVEL NACIONAL ESCALA 1: 25.000- Cantón Playas. Memoria Técnica.
- Suquilanda, M. (2017). *Manejo Agroecológico de Suelos*. Quito: Primera Edición.
- Stremjanský, J., Lackóová, L., Stremjanská, A., y Varga, V. (2015). Determination of soil endangerment by wind erosion with consideration of legislative changes in acceptable soil loss. *Ekologia Bratislava*, 34(1), 1–6. doi: 10.1515/eko-2015-0001.
- Shoji, S; Nanzyo, M and R.A Dahlgren. (1993). Volcanic Ashsoils Genesis, Properties and Utilización. Elsevier Science Publishers the Netherlands; pág. 288
- Toy T, J., Foster G. R., y Renard K.G. (1999). RUSLE for mining, construction and reclamation lands J. *Soil Water Conservancy*, (54),462-467.
- USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos Servicio de Conservación de Recursos Naturales). (2006). Claves para la Taxonomía de Suelos. Decima Edición. Texaco-México.
- Vega, M., y Febles, J. (2005). La Investigación De Suelos Erosionados: Métodos E Índices De Diagnóstico. *Minería y Geología*, 21 (2), 1-18. Holguín, Cuba.
- Vives, J. B. (2003). Manual De Técnicas Analíticas Para La Determinación De Parámetros Físicoquímicos Y Contaminantes Marinos Aguas, Sedimentos Y Organismos. *INVEMAR*, (01), 148.
- Verbist, K., Santibañez, F., Gabriels, D., y Soto, G. (2010). Documento técnico No 25. Atlas de zonas áridas de América latina y el Caribe.
- Wischmeier, W. H. y Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses a guide to conservation planning. *Agriculture Handbook No. 537. USDA/Science and Education Administration*, Washington, DC.
- Woodruff, N. P., y Siddoway, F. H. (1965). A wind erosion equation. *Soil Science Society of America Proceedings*. Recuperado de:

<https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/30200525/897%20A%20wind%20erosion%20equation.pdf>

Zambrano, N. (2015). Estimación y transporte de sedimentos en cuencas pequeñas a escala de evento mediante un modelo de base física basada en SIG. (Tesis doctoral). UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUNYA BARCELONA TECH, Barcelona – España.

Zapata, C. F. (2015). Aplicación Del Modelo Rusle Para El Cálculo De Erosión Hídrica En La Microcuenca Del Río Perlaví (Tesis pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito-Ecuador.

Zingg, A.W., Woodruff, N. P., 1951. Calibration of a Portable Tunnel for Simple

Determination of Roughness and Drag on Field Surfaces. Agron. J. 43 (4), 191–

193.

ANEXOS

ANEXO 1

ANÁLISIS DE SUELOS

 AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-842/2372-844/2372-845	PGT/SFA/09-FO01
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	Rev. 2
	Hoja 1 de 2	

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° SAE-LEN-16-006

Informe N°: LN-SFA-E17-0920
 Fecha emisión Informe: 23/06/2017

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante: Jeniffer Jaramillo

Dirección: Av. Chiriboga entre Ibarra

Provincia: Imbabura

Cantón: Otavalo

Teléfono: 0995869153

Correo Electrónico: jeny931095@gmail.com

N° Orden de Trabajo: SFA-17-CGLS-1361

N° Factura/Documento: 9958

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra: Suelo	Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco	
Cultivo: ----		
Provincia: Carchi	Coordenadas:	X: ----
Cantón: ----		Y: ----
Parroquia: ----		Altitud: ----
Muestreado por: Jeniffer Jaramillo		
Fecha de muestreo: 03-06-2017	Fecha de inicio de análisis: 09-06-2017	
Fecha de recepción de la muestra: 09-06-2017	Fecha de finalización de análisis: 23-06-2017	

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-17-1129	Parcela Número 1	pH	Potenciométrico PEE/SFA/06 EPA 9045D	---	7,51
		Materia Orgánica*	Volumétrico PEE/SFA/09	%	1,42
		Nitrógeno*	Volumétrico PEE/SFA/09	%	0,07
		Fósforo*	Colorimétrico PEE/SFA/11	mg/kg	51,9
		Potasio*	Absorción Atómica PEE/SFA/12	cmol/kg	0,96
		Densidad Real*	Picnómetro PEE/SFA/25	g/ml	2,34
		Arena*	Bouyoucos PEE/SFA/20	%	50
		Limo*	Bouyoucos PEE/SFA/20	%	42
		Arcilla*	Bouyoucos PEE/SFA/20	%	8
		Clase Textural*	Cálculo PEE/SFA/20	---	Franco Arenoso

Analizado por: Daniel Bedoya, Katty Pastás, Luis Cacuango

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

 AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-842/2372-844/2372-845	PGT/SFA/09-FO01
		Rev. 2
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	Hoja 1 de 2

Informe N°: LN-SFA-E17-0921
 Fecha emisión Informe: 23/06/2017

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante: Jeniffer Jaramillo

Dirección: Av. Chiriboga entre Ibarra

Provincia: Imbabura

Cantón: Otavalo

Teléfono: 0995869153

Correo Electrónico: jeny931095@gmail.com

N° Orden de Trabajo: SFA-17-CGLS-1361

N° Factura/Documento: 9958

DATOS DE LA MUESTRA:


Tipo de muestra: Suelo	Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco	
Cultivo: ----		
Provincia: Carchi		X: ----
Cantón: ----	Coordenadas:	Y: ----
Parroquia: ----		Altitud: ----
Muestreado por: Jeniffer Jaramillo		
Fecha de muestreo: 03-06-2017	Fecha de inicio de análisis: 09-06-2017	
Fecha de recepción de la muestra: 09-06-2017	Fecha de finalización de análisis: 23-06-2017	

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-17-1130	Parcela Número 2	pH	Potenciométrico PEE/SFA/06 EPA 9045D	---	9,15
		Materia Orgánica	Volumétrico PEE/SFA/09	%	0,24
		Nitrógeno	Volumétrico PEE/SFA/09	%	0,01
		Fósforo	Colorimétrico PEE/SFA/11	mg/kg	11,4
		Potasio	Absorción Atómica PEE/SFA/12	cmol/kg	1,04
		Densidad Real	Picnómetro PEE/SFA/25	g/ml	2,38
		Arena	Bouyoucos PEE/SFA/20	%	44
		Limo	Bouyoucos PEE/SFA/20	%	40
		Arcilla	Bouyoucos PEE/SFA/20	%	16
		Clase Textural	Cálculo PEE/SFA/20	---	Franco

Analizado por: Daniel Bedoya, Katty Pastás, Luis Cacuango

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha.
 Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

 AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-842/2372-844/2372-845	PGT/SFA/09-FO01
		Rev. 2
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	Hoja 2 de 2

Observaciones:

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS - REGIÓN SIERRA

PARÁMETRO	MO (%)	N (%)	P (mg/kg)	K (cmol/kg)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)
BAJO	<1,0	0-0,15	0-10,0	<0,2	<1,0	<0,33	0-20,0	0-5,0	0-1,0	0-3,0
MEDIO	1,0-2,0	0,16-0,3	11,0-20,0	0,2-0,38	1,0-3,0	0,34-0,66	21,0-40,0	6,0-15,0	1,1-4,0	3,1-6,0
ALTO	>2,0	>0,31	>21,0	>0,4	>3,0	>0,66	>41,0	>16,0	>4,1	>6,1

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS - REGIÓN COSTA Y SIERRA

	Ácido	Ligeramente Ácido	Prácticamente Neutro	Ligeramente Alcalino	Alcalino
pH	5,5	5,6-6,4	6,5-7,5	7,6-8,0	8,1



AGROCALIDAD
 AGENCIA ECUATORIANA
 DE ASEGURAMIENTO
 DE LA CALIDAD DEL AGRO

LABORATORIO DE SUELOS,
 FOLIARES Y AGUAS
 TUMBACO - ECUADOR

Q. A. Luis Cacuango
 Responsable de Laboratorio
 Suelos, Foliars y Aguas

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha.
 Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

 AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-842/2372-844/2372-845	PGT/SFA/09-FO01
		Rev. 2
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	Hoja 1 de 2

Informe N°: LN-SFA-E17-0922
 Fecha emisión informe: 23/06/2017

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante: Jeniffer Jaramillo

Dirección: Av. Chiriboga entre Ibarra

Provincia: Imbabura

Cantón: Otavalo

Teléfono: 0995869153

Correo Electrónico: jeny931095@gmail.com

N° Orden de Trabajo: SFA-17-CGLS-1361

N° Factura/Documento: 9958

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra: Suelo	Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco	
Cultivo: ----		
Provincia: Carchi	Coordenadas:	X: ----
Cantón: ----		Y: ----
Parroquia: ----		Altitud: ----
Muestreado por: Jeniffer Jaramillo		
Fecha de muestreo: 03-06-2017	Fecha de inicio de análisis: 09-06-2017	
Fecha de recepción de la muestra: 09-06-2017	Fecha de finalización de análisis: 23-06-2017	

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-17-1131	Parcela Número 3	pH	Potenciométrico PEE/SFA/06 EPA 9045D	---	9,28
		Materia Orgánica	Volumétrico PEE/SFA/09	%	0,28
		Nitrógeno	Volumétrico PEE/SFA/09	%	0,01
		Fósforo	Colorimétrico PEE/SFA/11	mg/kg	19,0
		Potasio	Absorción Atómica PEE/SFA/12	cmol/kg	0,88
		Densidad Real	Picnómetro PEE/SFA/25	g/ml	2,58
		Arena	Bouyoucos PEE/SFA/20	%	58
		Limo	Bouyoucos PEE/SFA/20	%	36
		Arcilla	Bouyoucos PEE/SFA/20	%	6
		Clase Textural	Cálculo PEE/SFA/20	---	Franco Arenoso

Analizado por: Daniel Bedoya, Katty Pastás, Luis Cacuango

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

 AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-842/2372-844/2372-845	PGT/SFA/09-FO01
		Rev. 2
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	Hoja 2 de 2

Observaciones:

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS - REGIÓN SIERRA

PARÁMETRO	MO (%)	N (%)	P (mg/kg)	K (cmol/kg)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)
BAJO	<1,0	0-0,15	0-10,0	<0,2	<1,0	<0,33	0-20,0	0-5,0	0-1,0	0-3,0
MEDIO	1,0-2,0	0,16-0,3	11,0-20,0	0,2-0,38	1,0-3,0	0,34-0,66	21,0-40,0	6,0-15,0	1,1-4,0	3,1-6,0
ALTO	>2,0	>0,31	>21,0	>0,4	>3,0	>0,66	>41,0	>16,0	>4,1	>6,1

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS - REGIÓN COSTA Y SIERRA

	Ácido	Ligeramente Ácido	Prácticamente Neutro	Ligeramente Alcalino	Alcalino
pH	5,5	5,6-6,4	6,5-7,5	7,6-8,0	8,1



AGROCALIDAD
 AGENCIA ECUATORIANA
 DE ASEGURAMIENTO
 DE LA CALIDAD DEL AGRO

LABORATORIO DE SUELOS,
 FOLIARES Y AGUAS
 TUMBACO - ECUADOR

Q. A. Luis Cacuango
 Responsable de Laboratorio
 Suelos, Foliar y Aguas

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha.
 Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

 AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-844/2372-845	PGT/SFA/09-FO01
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	Rev. 2
		Hoja 1 de 1

Informe N°: LN-SFA-E17-1175
 Fecha emisión Informe: 14/07/2017

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante: Jeniffer Jaramillo

Dirección: Av. Chiriboga entre Ibarra

Provincia: Imbabura

Cantón: Otavalo

Teléfono: 0995869153

Correo Electrónico: jenny931095@gmail.com

N° Orden de Trabajo: SFA-17-CGLS-1637

N° Factura/Documento: 2941

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra: Suelo	Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco	
Cultivo: ----		
Provincia: Carchi	Coordenadas:	X: ----
Cantón: Entre Ibarra y Bolívar		Y: ----
Parroquia: Ambuquí		Altitud: ----
Muestreado por: Jeniffer Jaramillo		
Fecha de muestreo: 01-07-2017	Fecha de inicio de análisis: 11-07-2017	
Fecha de recepción de la muestra: 11-07-2017	Fecha de finalización de análisis: 14-07-2017	

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-17-1428	Cuadrante 1	Densidad Aparente	Gravimétrico PEE/SFA/23	g/ml	1,51
SFA-17-1429	Cuadrante 2	Densidad Aparente	Gravimétrico PEE/SFA/23	g/ml	1,51
SFA-17-1430	Cuadrante 3	Densidad Aparente	Gravimétrico PEE/SFA/23	g/ml	1,73

Analizado por: Daniel Bedoya, Katty Pastás, Luis Cacuango

Observaciones:



AGROCALIDAD
 AGENCIA ECUATORIANA
 DE ASEGURAMIENTO
 DE LA CALIDAD DEL AGRO
 LABORATORIO DE SUELOS
 FOLIARES Y AGUAS
 TUMBACO - ECUADOR

Q. A. Luis Cacuango
 Responsable de Laboratorio
 Suelos, Foliares y Aguas

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha.
 Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

ANEXO 2

ANÁLISIS DE AGUA MES DE JULIO



LABORATORIO EMAPA-I

INFORME DE ENSAYO AGUA POTABLE Y CRUDA		FMC2305-01
		Revisión: 1
Informe de Ensayo Nro: IECE17096		Pág. 1 de 1
Cliente: Sra. Luisa Gabriela Arroyo Dirección: Ibarra		
Fecha de recepción: 25 de Julio del 2017 Identificación muestra: Muestra tomada en la microcuenca La Merced Tipo de muestra: Cruda Cod. Lab: MEC17-018		
Fecha de realización de ensayos: 26/07/2017		Fecha de emisión informe: 27 de Julio del 2017

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICOS

Parámetros	Unidades	RESULTADOS	Límite máximo permisible ¹	Método del Ensayo
Sólidos Totales Disueltos**	mg/l	200	-	SM 2510A
Sólidos secos totales**	mg/l	322,5	-	SM 2540B

*Observaciones:

* Opiniones e interpretaciones están fuera del alcance de acreditación

Los ensayos marcados ** están fuera del alcance de acreditación

Los resultados sólo se refieren a la muestra receptada y analizada. El Laboratorio EMAPA-I declina toda responsabilidad por el uso que se le de al presente documento.

Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del Laboratorio EMAPA-I.

¹Valores de referencia tomados de la NORMA INEN 1108:2014 Agua potable. Requisitos

Bq. Carla Valarezo
JEFE DE LABORATORIO

Revisado R.T.:	
----------------	--

ANÁLISIS DE AGUA MES DE AGOSTO



LABORATORIO EMAPA-I

INFORME DE ENSAYO AGUA POTABLE Y CRUDA		FMC2305-01
		Revisión: 1
Informe de Ensayo Nro: IECE17142		Pág. 1 de 1
Cliente: Sra. Luisa Gabriela Arroyo Dirección: La Esperanza, Barrio Rumipamba		
Fecha de recepción: 28 de Agosto del 2017 Identificación muestra: Muestra tomada en la microcuenca La Merced Tipo de muestra: Cruda Cod. Lab: MEC17-023		
Fecha de realización de ensayos: 28/08/2017		Fecha de emisión informe: 30 de Agosto del 2017

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICOS

Parámetros	Unidades	RESULTADOS	Límite máximo permisible ¹	Método del Ensayo
Sólidos Totales Disueltos**	mg/l	244	-	SM 2510A
Sólidos secos totales**	mg/l	421,25	-	SM 2540B

*Observaciones:

* Opiniones e interpretaciones están fuera del alcance de acreditación

Los ensayos marcados ** están fuera del alcance de acreditación

Los resultados sólo se refieren a la muestra receptada y analizada. El Laboratorio EMAPA-I declina toda responsabilidad por el uso que se le de al presente documento.

Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del Laboratorio EMAPA-I.

¹ Valores de referencia tomados de la NORMA INEN 1108:2014 Agua potable. Requisitos

Bq. Carla Valarezo
JEFE DE LABORATORIO

Revisado R.T.:	
----------------	--

ANÁLISIS DE AGUA MES DE SEPTIEMBRE



LABORATORIO EMAPA-I

INFORME DE ENSAYO AGUA POTABLE Y CRUDA		FMC2305-01
		Revisión: 1
Informe de Ensayo Nro: IECE17169		Pág. 1 de 1
Cliente: Sra. Luisa Gabriela Arroyo		
Dirección: La Esperanza, Barrio Rumipamba		
Fecha de recepción: 02 de Octubre del 2017		
Identificación muestra: Muestra tomada en la microcuenca quebrada La Merced		
Tipo de muestra: Cruda		
Cod. Lab: MEC17-030		
Fecha de realización de ensayos: 03/10/2017 - 04/10/2017	Fecha de emisión informe: 04 de Octubre del 2017	

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICOS

Parámetros	Unidades	RESULTADOS	Límite máximo permisible ¹	Método del Ensayo
Sólidos Totales Disueltos**	mg/l	305	-	SM 2510A
Sólidos secos totales**	mg/l	672.5	-	SM 2540B

*Observaciones:

* Opiniones e interpretaciones están fuera del alcance de acreditación

Los ensayos marcados ** están fuera del alcance de acreditación

Los resultados sólo se refieren a la muestra receptada y analizada. El Laboratorio EMAPA-I declina toda responsabilidad por el uso que se le de al presente documento.

Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del Laboratorio EMAPA-I.

¹ Valores de referencia tomados de la NORMA INEN 1108:2014 Agua potable. Requisitos

Bq. Carla Valarezo
JEFE DE LABORATORIO

Revisado R.T.:

ANÁLISIS DE AGUA MES DE OCTUBRE



LABORATORIO EMAPA-I

INFORME DE ENSAYO AGUA POTABLE Y CRUDA		FMC2305-01
		Revisión: 1
Informe de Ensayo Nro: IECE17231		Pág. 1 de 1
Cliente: Sra. Luisa Gabriela Arroyo		
Dirección: La Esperanza, Barrio Rumipamba		
Fecha de recepción: 30 de Octubre del 2017		
Identificación muestra: Muestra tomada en la microcuenca quebrada La Merced		
Tipo de muestra: Cruda		
Cod. Lab: MEC17-034		
Fecha de realización de ensayos: 30/10/2017 - 31/10/2017	Fecha de emisión informe: 01 de Noviembre del 2017	

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICOS

Parámetros	Unidades	RESULTADOS	Límite máximo permisible ¹	Método del Ensayo
Sólidos Totales Disueltos**	mg/l	167	-	SM 2510A
Sólidos secos totales**	mg/l	2630	-	SM 2540B

*Observaciones:

* Opiniones e interpretaciones están fuera del alcance de acreditación

Los ensayos marcados ** están fuera del alcance de acreditación

Los resultados sólo se refieren a la muestra receptada y analizada. El Laboratorio EMAPA-I declina toda responsabilidad por el uso que se le de al presente documento.

Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del Laboratorio EMAPA-I.

¹ Valores de referencia tomados de la NORMA INEN 1108:2014 Agua potable. Requisitos

Bq. Carla Valarezo
JEFE DE LABORATORIO

Revisado R.T.:	
----------------	--

ANÁLISIS DE AGUA MES DE NOVIEMBRE



LABORATORIO EMAPA-I

INFORME DE ENSAYO AGUA POTABLE Y CRUDA		FMC2305-01
		Revisión: 1
Informe de Ensayo Nro: IECE17263		Pág. 1 de 1
Cliente: Sra. Luisa Gabriela Arroyo Dirección: La Esperanza, Barrio Rumipamba Fecha de recepción: 27 de Noviembre del 2017 Identificación muestra: Muestra tomada en la microcuenca quebrada La Merced Tipo de muestra: Cruda Cod. Lab: MEC17-043		
Fecha de realización de ensayos: 27/11/2017 - 28/11/2017		Fecha de emisión informe: 30 de Noviembre del 2017

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICOS

Parámetros	Unidades	RESULTADOS	Límite máximo permisible ¹	Método del Ensayo
Sólidos Totales Disueltos**	mg/l	146	-	SM 2510A
Sólidos secos totales**	mg/l	518,75	-	SM 2540B

*Observaciones:

* Opiniones e interpretaciones están fuera del alcance de acreditación

Los ensayos marcados ** están fuera del alcance de acreditación

Los resultados sólo se refieren a la muestra receptada y analizada. El Laboratorio EMAPA-I declina toda responsabilidad por el uso que se le de al presente documento.

Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del Laboratorio EMAPA-I.

¹Valores de referencia tomados de la NORMA INEN 1108:2014 Agua potable. Requisitos

Bq. Carla Valarezo
JEFE DE LABORATORIO



Revisado R.T.:

ANÁLISIS DE AGUA MES DE DICIEMBRE



INFORME DE ENSAYO AGUA POTABLE Y CRUDA		FMC2305-01
		Revisión: 1
Informe de Ensayo Nro: IECE18001		Pág. 1 de 1
Cliente: Sra. Luisa Gabriela Arroyo Dirección: La Esperanza, Barrio Rumipamba		
Fecha de recepción: 03 de Enero del 2018 Identificación muestra: Muestra tomada en la microcuenca quebrada La Merced Tipo de muestra: Cruda Cod. Lab: MEC18-001		
Fecha de realización de ensayos: 03/01/2018 -08 /01/2018		Fecha de emisión informe: 08 de Enero del 2018

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICOS

Parámetros	Unidades	RESULTADOS	Límite máximo permisible ¹	Método del Ensayo
Sólidos Totales Disueltos**	mg/l	204	-	SM 2510A
Sólidos secos totales**	mg/l	360	-	SM 2540B

***Observaciones:**


* Opiniones e interpretaciones están fuera del alcance de acreditación

Los ensayos marcados ** están fuera del alcance de acreditación


Los resultados sólo se refieren a la muestra receptada y analizada. El Laboratorio EMAPA-I declina toda responsabilidad por el uso que se le de al presente documento.

Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del Laboratorio EMAPA-I.

¹ Valores de referencia tomados de la NORMA INEN 1108:2014 Agua potable. Requisitos


 Bq. Carla Valarezo
 JEFE DE LABORATORIO



Revisado R.T.: 

Dirección: Av. Atahualpa 21-323, Planta de Tratamiento Caranqui
 Telf. (06) 2641-176 ext:117, laboratorio@emapai.gob.ec Casilla 754 / Ibarra – Ecuador

ANÁLISIS DE AGUA MES DE ENERO



LABORATORIO EMAPA-I

INFORME DE ENSAYO AGUA POTABLE Y CRUDA		FMC2305-01
		Revisión: 1
Informe de Ensayo Nro: IECE-18-021		Pág. 1 de 1
Cliente: Sra. Luisa Gabriela Arroyo		
Dirección: La Esperanza, Barrio Rumipamba		
Fecha de recepción: 29 de Enero del 2018		
Identificación muestra: Muestra tomada en la microcuenca quebrada La Merced		
Tipo de muestra: Cruda		
Cod. Lab: MEC18-004		
Fecha de realización de ensayos: 29/01/2018 - 30/01/2018		Fecha de emisión informe: 31 de Enero del 2018

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICOS

Parámetros	Unidades	RESULTADOS	Límite máximo permisible ¹	Método del Ensayo
Sólidos Totales Disueltos**	mg/l	123	-	SM 2510A
Sólidos secos totales**	mg/l	482,5	-	SM 2540B

*Observaciones:

* Opiniones e interpretaciones están fuera del alcance de acreditación

Los ensayos marcados ** están fuera del alcance de acreditación

Los resultados sólo se refieren a la muestra receptada y analizada. El Laboratorio EMAPA-I declina toda responsabilidad por el uso que se le de al presente documento.

Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del Laboratorio EMAPA-I.

¹Valores de referencia tomados de la NORMA INEN 1108:2014 Agua potable. Requisitos

Bq. Carla Valarezo
JEFE DE LABORATORIO



Revisado R.T.:

Dirección: Av. Atahualpa 21-323, Planta de Tratamiento Caranqui
Telf. (06) 2641-176 ext:117, laboratorio@emapai.gob.ec Casilla 754 / Ibarra – Ecuador

ANÁLISIS DE AGUA MES DE FEBRERO



LABORATORIO EMAPA-I

INFORME DE ENSAYO AGUA POTABLE Y CRUDA

FMC2305-01

Revisión: 1

Informe de Ensayo Nro: IEPE-18-076

Pág. 1 de 1

Cliente: Sra. Luisa Gabriela Arroyo

Dirección: La Esperanza, Barrio Rumipamba

Fecha de recepción: 02 de Marzo del 2018

Identificación muestra: Muestra tomada en la microcuencia quebrada La Mercedes

Tipo de muestra: Cruda

Cod. Lab: MEC18-009

Fecha de realización de ensayos: 27/02/2018 - 28/02/2018

Fecha de emisión informe: 02 de Marzo del 2018

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICOS

Parámetros	Unidades	RESULTADOS	Límite máximo permisible ¹	Método del Ensayo
Sólidos Totales Disueltos**	mg/l	228,75	-	SM 2510A
Sólidos secos totales**	mg/l	82	-	SM 2540B

*Observaciones:

* Opiniones e interpretaciones están fuera del alcance de acreditación

Los ensayos marcados ** están fuera del alcance de acreditación

Los resultados sólo se refieren a la muestra receptada y analizada. El Laboratorio EMAPA-I declina toda responsabilidad por el uso que se le de al presente documento.

Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del Laboratorio EMAPA-I.

¹ Valores de referencia tomados de la NORMA INEN 1108:2014 Agua potable. Requisitos

Bq. Carla Valarezo
JEFE DE LABORATORIO

Revisado R.T.:

Dirección: Av. Atahualpa 21-323, Planta de Tratamiento Caranqui
Telf. (06) 2641-176 ext:117, laboratorio@emapai.gob.ec Casilla 754 / Ibarra - Ecuador

ANÁLISIS DE AGUA MES DE MARZO



LABORATORIO EMAPA-I

INFORME DE ENSAYO AGUA POTABLE Y CRUDA		FMC2305-01
		Revisión: 1
Informe de Ensayo Nro: IECE-18-145		Pág. 1 de 1
Cliente: Srta. Luisa Gabriela Arroyo Dirección: La Esperanza, Barrio Rumipamba		
Fecha de recepción: 26 de Marzo del 2018 Identificación muestra: Muestra tomada en la microcuenca quebrada La Merced Tipo de muestra: Cruda Cod. Lab: MEC18-011		
Fecha de realización de ensayos: 26/03/2018 - 27/03/2018		Fecha de emisión informe: 29 de Marzo del 2018

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICOS

Parámetros	Unidades	RESULTADOS	Límite máximo permisible ¹	Método del Ensayo
Sólidos Totales Disueltos**	mg/l	207,0	-	SM 2510A
Sólidos secos totales**	mg/l	307,5	-	SM 2540B

*Observaciones:

* Opiniones e interpretaciones están fuera del alcance de acreditación

Los ensayos marcados ** están fuera del alcance de acreditación

Los resultados sólo se refieren a la muestra receptada y analizada. El Laboratorio EMAPA-I declina toda responsabilidad por el uso que se le de al presente documento.

Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del Laboratorio EMAPA-I.

¹ Valores de referencia tomados de la NORMA INEN 1108:2014 Agua potable. Requisitos

Bq. Carla Valarezo
JEFE DE LABORATORIO



Revisado R.T.:

Dirección: Av. Atahualpa 21-323, Planta de Tratamiento Caranqui
Telf. (06) 2641-176 ext:117, laboratorio@emapai.gob.ec Casilla 754 / Ibarra – Ecuador

ANÁLISIS DE AGUA MES DE ABRIL



LABORATORIO EMAPA-I

INFORME DE ENSAYO AGUA POTABLE Y CRUDA		FMC2305-01
		Revisión: 1
Informe de Ensayo Nro: IEPE-18-263		Pág. 1 de 1
Cliente: Srta. Luisa Gabriela Arroyo		
Dirección: La Esperanza, Barrio Rumipamba		
Fecha de recepción: 02 de Mayo del 2018		
Identificación muestra: Muestra tomada en la microcuenca quebrada La Merced		
Tipo de muestra: Cruda		
Cod. Lab: MEC18-013		
Fecha de realización de ensayos: 27/04/2018 - 30/04/2018		Fecha de emisión informe: 04 de Mayo del 2018

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICOS

Parámetros	Unidades	RESULTADOS	Límite máximo permisible ¹	Método del Ensayo
Sólidos Totales Disueltos**	mg/l	163,0	-	SM 2510A
Sólidos secos totales**	mg/l	427,5	-	SM 2540B

*Observaciones:

* Opiniones e interpretaciones están fuera del alcance de acreditación

Los ensayos marcados ** están fuera del alcance de acreditación

Los resultados sólo se refieren a la muestra receptada y analizada. El Laboratorio EMAPA-I declina toda responsabilidad por el uso que se le de al presente documento.

Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del Laboratorio EMAPA-I.

¹Valores de referencia tomados de la NORMA INEN 1108:2014 Agua potable. Requisitos

Bq. Carla Valarezo
JEFE DE LABORATORIO



Revisado R.T.:

Dirección: Av. Atahualpa 21-323, Planta de Tratamiento Caranqui
Telf. (06) 2641-176 ext:117, laboratorio@emapai.gob.ec Casilla 754 / Ibarra – Ecuador

ANÁLISIS DEL MES DE MAYO



LABORATORIO EMAPA-I

INFORME DE ENSAYO AGUA POTABLE Y CRUDA		FMC2305-01
		Revisión: 1
Informe de Ensayo Nro: IEPE-18-336		Pág. 1 de 1
Cliente: Srta. Luisa Gabriela Arroyo		
Dirección: La Esperanza, Barrio Rumipamba		
Fecha de recepción: 04 de Junio del 2018		
Identificación muestra: Muestra tomada en la microcuenca quebrada La Merced		
Tipo de muestra: Cruda		
Cod. Lab: MEC18-017		
Fecha de realización de ensayos:	01/06/2018 - 04/06/2018	Fecha de emisión informe: 05 de Junio del 2018

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICOS

Parámetros	Unidades	RESULTADOS	Límite máximo permisible ¹	Método del Ensayo
Sólidos Totales Disueltos**	mg/l	78,0	-	SM 2510A
Sólidos secos totales**	mg/l	390	-	SM 2540B

***Observaciones:**

* Opiniones e interpretaciones están fuera del alcance de acreditación

Los ensayos marcados ** están fuera del alcance de acreditación

Los resultados sólo se refieren a la muestra receptada y analizada. El Laboratorio EMAPA-I declina toda responsabilidad por el uso que se le de al presente documento.

Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del Laboratorio EMAPA-I.

¹ Valores de referencia tomados de la NORMA INEN 1108:2014 Agua potable. Requisitos

Bq. Carla Valarezo
JEFE DE LABORATORIO



Revisado R.T.:

Dirección: Av. Atahualpa 21-323, Planta de Tratamiento Caranqui
Telf. (06) 2641-176 ext:117, laboratorio@emapai.gob.ec Casilla 754 / Ibarra – Ecuador

ANÁLISIS DEL MES DE JUNIO



LABORATORIO EMAPA-I

INFORME DE ENSAYO AGUA POTABLE Y CRUDA		FMC2305-01
		Revisión: 1
Informe de Ensayo Nro: IECE-18-360		Pág. 1 de 1
Cliente: Srta. Luisa Gabriela Arroyo Dirección: La Esperanza, Barrio Rumipamba Fecha de recepción: 26 de Junio del 2018 Identificación muestra: Muestra tomada en la microcuenca quebrada La Merced Tipo de muestra: Cruda Cod. Lab: MEC18-018		
Fecha de realización de ensayos: 27/06/2018 - 28/06/2018		Fecha de emisión informe: 29 de Junio del 2018

REPORTE DE ANÁLISIS FÍSICOS

Parámetros	Unidades	RESULTADOS	Límite máximo permisible ¹	Método del Ensayo
Sólidos Totales Disueltos**	mg/l	197,0	-	SM 2510A
Sólidos secos totales**	mg/l	475	-	SM 2540B

*Observaciones:

* Opiniones e interpretaciones están fuera del alcance de acreditación

Los ensayos marcados ** están fuera del alcance de acreditación

Los resultados sólo se refieren a la muestra receptada y analizada. El Laboratorio EMAPA-I declina toda responsabilidad por el uso que se le de al presente documento.

Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del Laboratorio EMAPA-I.

¹ Valores de referencia tomados de la NORMA INEN 1108:2014 Agua potable. Requisitos

Bq. Carla Valarezo
JEFE DE LABORATORIO



Revisado R.T.:	
----------------	--

Dirección: Av. Atahualpa 21-323, Planta de Tratamiento Caranquí
Telf. (06) 2641-176 ext:117, laboratorio@emapai.gob.ec Casilla 754 / Ibarra – Ecuador

ANEXO 3

REGISTRO FOTOGRÁFICO



Figura 1. Microcuenca La Merced, con vista al Río Chota



Figura 2. Microcuenca La Merced, parte media.



Figura 3. Ensayo de clavos de erosión cuadrante 1.



Figura 4. Ensayo de clavos de erosión cuadrante 2



Figura 5. Ensayo de clavos de erosión cuadrante 3



Figura 5.
Registro de datos mensuales, cuadrante 1



Figura 6. Medición de la erosión hídrica,
en el cuadrante 1.



Figura 7. Medición de pendientes de los tres ensayos de clavos de erosión.



Figura 8. Registro de datos mensuales, cuadrante 3



Figura 9. Recolección de muestras de agua en el punto de aforo de la Microcuenca La Merced



Figura 10. Registro de datos en campo, de los cultivos de San Vicente de Pusir

MAPAS